

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID  
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR



TRABAJO FIN DE GRADO

INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

IndustRE y participación de la demanda industrial  
en los servicios del sistema eléctrico

AUTOR: D. Miguel Doncel Cabrera

DIRECTOR: D. Fernando Soto Martos

Leganés, junio de 2016



Universidad  
Carlos III de Madrid

*IndustRE y participación de la demanda industrial en los servicios del sistema eléctrico*

---

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar me gustaría agradecer a mis padres, a mi hermana y a mis abuelos todo el apoyo mostrado en este tiempo. Sin su comprensión y ayuda nada de lo conseguido habría sido posible.

A mi tutor Fernando Soto por darme la oportunidad de realizar este trabajo con él.

A todos los profesores, compañeros, amigos y familiares que de una forma u otra han contribuido en la consecución de mis logros académicos hasta el momento.

## **RESUMEN**

La electricidad en nuestros días conforma una de las bases más importantes para satisfacer el bienestar personal y el desarrollo económico de la sociedad. El mundo está sujeto directamente a la energía eléctrica, sin embargo, la gran mayoría de la sociedad no conoce cómo funciona el sistema eléctrico, quién vela por su seguridad y fiabilidad o quién establece el precio de esta energía. En el siguiente TFG se explicarán muchos conceptos útiles para conocer cómo funciona el sistema eléctrico de nuestro país.

A lo largo de la carrera, se imparten varias asignaturas relacionadas con la electricidad y los sistemas eléctricos. No obstante, en este TFG se desarrollará de forma mucho más amplia y detallada algunos de los conocimientos que de manera general se trataron en dichas asignaturas. Además, se añadirán numerosos conceptos desconocidos hasta el momento y que sirven de gran ayuda para el entendimiento de los sistemas eléctricos.

Se analizará un proyecto europeo llamado IndustRE. Se revisarán los modelos de negocio que éste presenta para conseguir situaciones beneficiosas para las industrias y el sector de las energías renovables. Dada la duración del proyecto, el TFG tan solo presentará las actividades desarrolladas hasta mayo de 2016.

También se realizará un estudio de los servicios de ajuste presentes en el sistema eléctrico español y la posible participación de la demanda industrial en ellos. Además se hará un análisis comparativo entre los sistemas español y británico prestando especial atención a las diferencias en los servicios de ajuste de uno y otro país.

## Tabla de contenido

1	CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	Presentación del tema a tratar .....	1
1.2	Objetivos del TFG .....	2
1.3	Estructura del proyecto .....	2
2	CAPÍTULO 2: SISTEMA ELÉCTRICO ESPAÑOL.....	4
2.1	Introducción a los sistemas eléctricos .....	4
2.2	Estructura del sistema eléctrico .....	5
2.3	Distribución y transporte de la energía .....	7
2.4	Producción de electricidad .....	9
2.5	Operador del sistema REE .....	13
2.6	Demanda de electricidad .....	13
2.7	Operador del mercado .....	14
3	CAPÍTULO 3: DEMANDA INDUSTRIAL DE LA ELECTRICIDAD .....	18
3.1	Demanda eléctrica en España.....	18
3.2	Demanda Industrial.....	21
3.3	Evolución de la demanda industrial.....	28
3.4	Participación de la demanda industrial en la operación del sistema .....	30
3.4.1	Mecanismos de ajuste .....	30
3.4.2	Modelos alternativos y servicios de emergencia .....	32
4	CAPÍTULO 4: PROYECTO INDUSTRIE.....	34
4.1	Objetivos .....	34
4.2	Presentación general del proyecto .....	35

4.3	Modelo de negocios de IndustRE .....	38
4.4	Proyectos de referencia en la UE.....	41
4.5	Potencial de participación en IndustRE .....	43
5	CAPÍTULO 5: SISTEMAS ELÉCTRICOS EN EL REINO UNIDO.....	48
5.1	La reestructuración del sector eléctrico.....	48
5.2	Producción de electricidad .....	50
5.3	Distribución y transporte en el Reino Unido .....	54
5.4	Demanda industrial en el sistema británico. ....	55
5.4.1	Participación de la demanda industrial y proyecto IndustRE en el Reino Unido.....	55
5.4.2	Servicios de ajuste en el Reino Unido.....	58
6	CAPÍTULO 6: CRONOGRAMA.....	61
7	CAPÍTULO 7: PRESUPUESTO .....	63
8	CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES .....	65
8.1	Conclusiones técnicas .....	65
8.2	Conclusiones personales .....	66
9	CAPÍTULO 9: APÉNDICES .....	67
9.1	Apéndice 1: Glosario de Términos.....	67
9.2	Apéndice 2: Diagrama de Gantt.....	70

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 2.1: Red de transporte actual [4].....</i>	<i>8</i>
<i>Tabla 2.2: Potencia instalada en España [10] .....</i>	<i>12</i>
<i>Tabla 3.1: Número de clientes ordenados según el sector de consumo [12] .....</i>	<i>18</i>
<i>Tabla 3.2: Electricidad consumida en España según sector de consumo [13] .....</i>	<i>18</i>
<i>Tabla 5.1: Potencia Instalada en el Reino Unido [41].....</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 5.2: Producción anual de electricidad en el Reino Unido [41] .....</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 6.1: Desglose final de actividades del TFG.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 7.1: Despiece de horas empleadas en el TFG.....</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 7.2: Recursos materiales estimados .....</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 7.3: Presupuesto final TFG.....</i>	<i>64</i>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.1: Logo proyecto IndustRE [1] .....</i>	<i>1</i>
<i>Figura 2.1: Estructura sistema eléctrico [3].....</i>	<i>7</i>
<i>Figura 2.2: Esquema ciclo combinado [6].....</i>	<i>9</i>
<i>Figura 2.3: Parque fotovoltaico más grande de España en Mula (Murcia) [7] .....</i>	<i>10</i>
<i>Figura 2.4: Centrales eléctricas distribuidas por el territorio español [9] .....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 2.5: Curva Generación-Consumo [9].....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 2.6: Situación mercado a día 15 marzo 2016 [11] .....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 2.7: Precio horario del mercado diario. Día 15 marzo 2016 [11] .....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 2.8: Precio horario por sesión mercado intradiario. Día 15 marzo 2016 [11].....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 3.1: Porcentajes de consumo de electricidad en 2015 [12].....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 3.2: Picos de consumo en España divididos por día y hora [14].....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 3.3: Patrón de consumo eléctrico semanal de una cementera [16].....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 3.4: Reparto de la energía diaria demandada por una cementera [16] .....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 3.5: Patrón semanal de consumo de una siderurgia [18] .....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 3.6: Elaboración de la pasta en una fábrica de papel [19].....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 3.7: Consumo semanal de una fábrica de papel [16].....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 3.8: Consumo semanal de una planta química [16].....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 3.9: Patrón de consumo semanal de una planta de procesado de Zinc [18] .....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 3.10: Evolución de la demanda eléctrica en España en porcentajes [13] .....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 3.11: Factores condicionantes del crecimiento de la demanda por meses [14] .</i>	<i>29</i>
<i>Figura 4.1: Logo del proyecto [27].....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 4.2: Propósito de industRE [27] .....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 4.3: Conexiones virtuales del proyecto IndustRE [27] .....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 4.4: Logo del proyecto de referencia eStorage [32] .....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 4.5: Logo del proyecto de referencia CEER [33] .....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 5.1: Estructura del sector eléctrico británico nacionalizado [37].....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 5.2: Parque eólico Hywind en el mar del Norte [39] .....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 5.3: Evolución de la Producción de las Energías Renovables en UK [40].....</i>	<i>52</i>



<i>Figura 5.4: Empresas destinadas al transporte de electricidad en UK [37].....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 5.5: Consumo eléctrico dividido por sector en el Reino Unido [42].....</i>	<i>56</i>
<i>Figura 5.6: Clasificación de los servicios de reserva [37].....</i>	<i>59</i>

# 1 CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

## 1.1 Presentación del tema a tratar

El presente trabajo fin de grado (TFG) tiene su origen en un proyecto europeo llamado IndustRE, que analiza los posibles mecanismos de colaboración entre la industria, las energías renovables y los sistemas eléctricos. Debido a que IndustRE está aún en desarrollo, finaliza en 2018, no se puede comentar los resultados del mismo. Por este motivo, el presente TFG analizará además temas como la organización y control de los sistemas eléctricos, la importancia de la demanda industrial o los mecanismos de ajuste utilizados por el operador del sistema para equilibrar producción y consumo, con indicación del potencial de participación de la industria en ellos. Así mismo, se realizará un análisis comparativo del sistema eléctrico español con el sistema en el Reino Unido. Gracias a todos estos análisis previos expuestos en el trabajo fin de grado, la comprensión del proyecto IndustRE será más sencilla.



Figura 1.1: Logo proyecto IndustRE [1]

En la figura 1.1 se muestra el logo elegido por IndustRE como seña de identidad del proyecto. La imagen es fácilmente interpretable al mostrar claramente un parque eólico que representa a las fuentes de energía renovables y unas chimeneas que simbolizan al sector industrial. Mediante el logo se transmite un mensaje de conexión y acoplamiento entre las energías limpias y las industrias.

## 1.2 Objetivos del TFG

El objetivo principal del TFG consiste en analizar los avances que se produzcan en el proyecto europeo IndustRE, para conocer cómo pueden colaborar la industria y las energías renovables; ya sea mediante contratos que mejoren las condiciones económicas ahora presentes, mediante la prestación de servicios de ajuste por parte de la industria o aplicando otras estrategias que serán analizadas en posteriores capítulos. Se mostrará la continua evolución que existe en los modelos de negocios eléctricos (en este caso la inserción de las energías renovables de manera más significativa). Por lo tanto, el fin último del trabajo es dar a conocer el proyecto de IndustRE en concreto y analizar cada una de sus propuestas de negocios con el fin de prever cómo será su funcionamiento una vez se ponga en marcha. Todo ello se hará examinando la documentación pública del proyecto hasta la fecha de entrega del TFG.

Otro de los objetivos del proyecto es analizar la repercusión que tienen las industrias (particularmente algunos sectores como la metalurgia, las cementeras o la industria química) como proveedores de servicios de ajuste en los sistemas eléctricos destacando los pros y contras.

También se establece como objetivo del TFG el estudio de los sistemas eléctricos español y británico (ambos países participantes en el proyecto IndustRE), prestando especial atención a los servicios de ajuste y la participación de la demanda. De esta manera, se realizará un análisis comparativo entre ambos sistemas contrastando los mecanismos de uno y otro.

## 1.3 Estructura del proyecto

El trabajo fin de grado está estructurado en 9 capítulos y 2 anexos. Se ordena de manera coherente comenzando por el desarrollo de conceptos más generales e introduciéndose metódicamente en temas más concretos.

El TFG comienza con un capítulo de introducción donde se presenta de manera breve el tema a tratar en el trabajo, los objetivos y la estructura del mismo.

En el capítulo 2 se desarrollarán conceptos básicos como la definición de sistema eléctrico o de demanda eléctrica. También se expondrá toda la estructura actual de los sistemas eléctricos en España (kilómetros de líneas, distribución de centrales eléctricas, etc.). Posteriormente se añadirán conceptos clave como el operador del sistema, necesario para conocer la manera de atender y conservar el sistema, o el operador de mercado enfocado en el control del precio de la electricidad. Todo ello estará precedido de un pequeño resumen de la evolución de los sistemas eléctricos hasta nuestros días.

En el capítulo 3 se analiza la influencia que tiene la industria a la hora de estudiar el consumo total de electricidad. Se expondrán los sectores industriales con más influencia en el consumo eléctrico explicando los puntos más característicos de cada uno. En este apartado se tratará uno de los conceptos más importantes del proyecto, la definición de mecanismos de ajuste y se explicarán los más utilizados en el territorio español. La comprensión de este apartado será muy útil para entender el modelo de negocios que posteriormente expone IndustRE.

Una vez que ya se conocen los conceptos fundamentales, llega el capítulo que le da nombre al TFG. En éste, se presenta de forma detallada el proyecto eléctrico IndustRE, impulsado por la Comisión Europea y que pretende establecer una colaboración entre las energías renovables y las industrias. En el capítulo 4 se incluye toda la información referente a este proyecto centrándose especialmente en los objetivos del mismo y en el modelo de negocios que IndustRE propone para conseguirlos. También se analizarán las industrias colaboradoras, proyectos anteriores similares a éste y los inconvenientes que se producen al instalar el nuevo modelo.

Posteriormente se realiza un estudio comparativo en el que se analiza el sistema eléctrico británico. Como en este punto del trabajo ya son conocidos todos los conceptos eléctricos básicos, el capítulo 5 es mucho más directo, presentando los temas más relevantes (Evolución temporal del sistema, niveles de producción, estructura de distribución y transporte y por último, presentación de la demanda industrial y mecanismos de ajuste en el Reino Unido).

Los últimos capítulos del TFG corresponden a tareas complementarias como el presupuesto, el cronograma final de actividades o las referencias bibliográficas utilizadas para recabar información.

Finalmente, en el capítulo 8 se presentan las conclusiones, tanto técnicas como personales, de la materia analizada y de la experiencia vivida al desarrollar este TFG

En los anexos se incluye información adicional que completa el TFG como el glosario de términos donde se definen un gran número de conceptos utilizados a lo largo del trabajo o el diagrama de Gantt donde se muestra la planificación temporal de las tareas realizadas en el proyecto.

## 2 CAPÍTULO 2: SISTEMA ELÉCTRICO ESPAÑOL

### 2.1 Introducción a los sistemas eléctricos

Antes de comenzar a explicar el sistema eléctrico español es necesario conocer la definición de sistema eléctrico y su evolución a lo largo de la historia al menos de una forma breve.

Se conoce como sistema eléctrico a un conjunto de elementos que hacen posible disponer de energía eléctrica en cualquier punto en el que se considere adecuada o necesaria su utilización. Es un sistema dinámico de enormes dimensiones que requiere un mantenimiento permanente para conseguir un equilibrio entre producción de electricidad y su demanda.

El sistema eléctrico comenzó a desarrollarse a finales del siglo XIX con un propósito concreto, el de iluminar mediante bombillas las calles y hogares. Hasta esa fecha la electricidad era un gran desconocido que únicamente había sido usado como espectáculo, sin lograr encontrarle una aplicación real útil. Sin embargo es en 1882 cuando el ilustrísimo Thomas Edison pone en funcionamiento el primer sistema eléctrico completo. Se desarrollaba en corriente continua y abastecía de electricidad a una pequeña porción de una barriada de Nueva York. En los años posteriores a eso, es decir, en la década de 1890, se produjo una intensa disputa entre Edison, mencionado anteriormente y Nicola Tesla quién defendía el uso de un sistema eléctrico basado en la corriente alterna. Durante todo el siglo XX el sistema eléctrico fue evolucionando de una manera claramente notable gracias a la aparición de elementos tan importantes como los transformadores o las máquinas de corriente alterna sinusoidal hasta llegar al sistema complejo y desarrollado que se tiene en la actualidad [2].

Los sistemas eléctricos actuales están constituidos por un gran número de elementos entre los que pueden destacar los siguientes:

- Centros o plantas de generación: es el lugar donde se produce la electricidad y pueden ser de diversos tipos (Centrales hidroeléctricas, Centrales Nucleares, Centros de ciclo combinado, Parques Eólicos,...)
- Líneas de transporte: son las encargadas de trasladar la energía en Muy Alta Tensión.
- Subestaciones: interconectan líneas de transporte y líneas de transporte con líneas de distribución. Para ello necesitan disponer de transformadores y subestaciones de distribución.
- Estaciones transformadoras: reducen o aumentan la tensión de la línea.

- Líneas de distribución: llevan la electricidad hasta los puntos de consumo final. La tensión a la que se encuentra dicha línea podrá ser alta, baja o media predominando ésta última.
- Centro de consumo: punto final donde es utilizada la energía. Puede tratarse de centros industriales, servicios o residenciales.
- Centro de Control Eléctrico (CECOEL): es el lugar desde donde se gestiona y opera el sistema eléctrico, tanto la generación como el transporte de la energía. La entidad encargada de su gestión es el Operador del sistema, función que desempeña Red Eléctrica de España.

## 2.2 Estructura del sistema eléctrico

Un sistema eléctrico tiene las siguientes actividades o etapas: generación, transporte, distribución, comercialización y consumo [3].

- **Generación:** su misión es producir energía eléctrica. Suele estar alejada de los centros de consumo y próxima a fuentes de energía. Las distintas técnicas y centrales de generación de energía serán explicadas en próximas secciones.
- **Transporte:** Permite llevar grandes cantidades de energía eléctrica desde los centros productores hasta las zonas consumidoras. Suele realizarse a grandes tensiones para evitar pérdidas. En el sistema eléctrico peninsular su nivel de tensión es de 220 kV y 400 kV, lo que es considerado como Muy Alta Tensión. La Muy Alta Tensión se utiliza mayoritariamente para el proceso que conecta la generación con la distribución y el consumo. El hecho de utilizar valores tan altos para la tensión hace que se reduzca la intensidad y como consecuencia de eso las pérdidas también disminuyen. La red de transporte es mallada, lo cual facilita el mantenimiento y el suministro. Los cables subterráneos apenas se utilizan por su elevado coste y mantenimiento. En los últimos 20 años España ha experimentado un aumento del número de Kilómetros de líneas en 400 kV mientras que se ha mantenido constante en las de 220 kV.
- **Distribución:** suministro de la energía eléctrica a distintos niveles de tensión. Dentro de esta parte del proceso se pueden distinguir tres sectores:
  - Reparto. Se efectúa en los niveles de tensión de 66 a 132 kV.

- **Distribución a Media Tensión.** Se efectúa en niveles de tensión de 15kV a 45 kV. Para reducir las tensiones de reparto y convertirlas en Media Tensión se utilizan subestaciones de distribución. La Media Tensión suele cubrir la superficie de consumo, conectando las subestaciones que traen Alta Tensión con los centros de transformación que la reducen hasta Baja Tensión.
- **Distribución Baja Tensión.** Se efectúa a 230 y 400 V. Se considera Baja Tensión cuando los valores son iguales o inferiores a 1kV. La Baja Tensión se utiliza para el último escalón en la distribución de la energía, siendo ésta la suministrada al consumidor final.
- **Comercialización:** La comercialización corresponde con el proceso de compra y venta de energía eléctrica. Dependiendo de los precios diarios de la energía y realizando una comparación con los que ofrecen los países vecinos, España se comporta como exportador o importador de energía. Como será comentado en próximas secciones es el operador de mercado quien fija el precio de la energía basándose en un exhaustivo análisis y es entonces cuando comienza el proceso de comercialización.
- **Consumo o demanda:** Es el gasto final de energía eléctrica. Su estudio es fundamental para conocer que niveles de energía han de ser producidos en las centrales y así mantener equilibrado el sistema.

Para el buen funcionamiento del sistema eléctrico este conjunto de instalaciones está dotado de mecanismos de seguridad, protección y control. Las tensiones utilizadas variarán dependiendo del paso del proceso en el que se encuentre el suministro eléctrico. Cabe destacar que durante la parte de transporte de la energía eléctrica, va a aparecer una variable muy importante, las pérdidas de energía en las líneas.

Como se ha comentado anteriormente, el sistema eléctrico debe establecer siempre y en todo instante un equilibrio entre la energía que se produce y la que se consume. Es por esto por lo que las pérdidas durante el transporte, en algunos casos de hasta el 1,5% de la energía total, serán consideradas como un consumo extra de electricidad a la hora de hacer cálculos y mantener esa armonía.

## ASPECTOS GENERALES

### Estructura física del sistema eléctrico

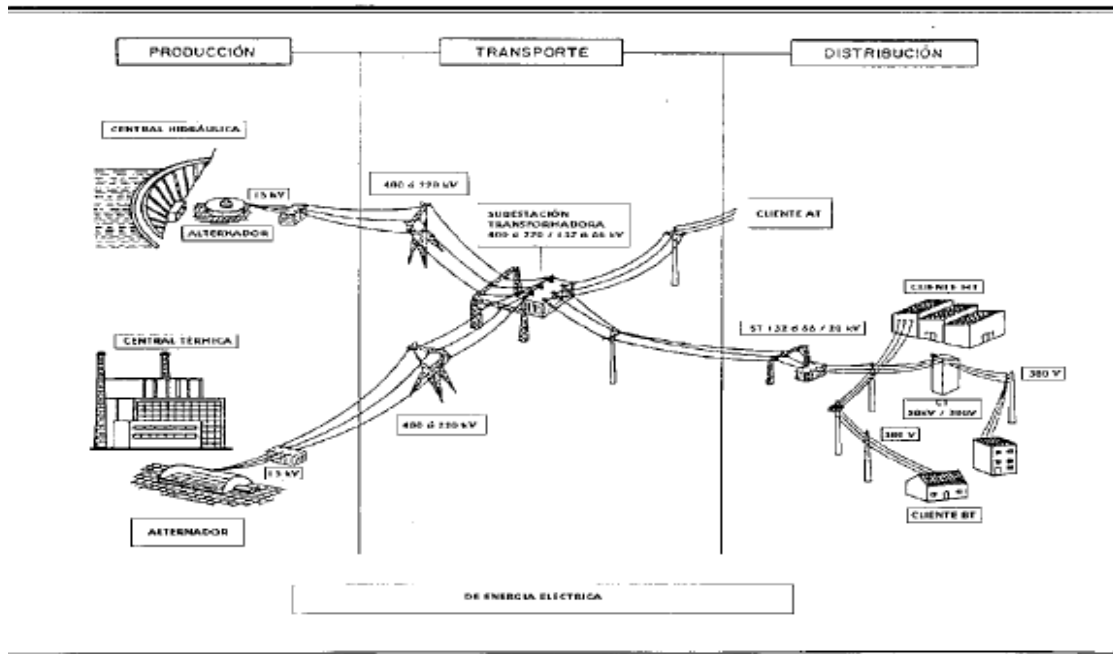


Figura 2.1: Estructura sistema eléctrico [3]

Como se aprecia en la figura, en un sistema eléctrico tendremos una primera fase de producción de la energía (Central térmica e hidráulica en el caso de la imagen), un conjunto de cables y subestaciones que corresponden con la etapa de transporte y finalmente, una red normalmente con una estructura diferente que se encarga de la distribución de la energía a los puntos finales de consumo.

### 2.3 Distribución y transporte de la energía

La energía no es almacenable en cantidades significativas por lo que se podría decir que la mayor parte de la electricidad se encuentra en continuo movimiento. Por este motivo resulta necesario tener un buen sistema que se encargue de la distribución y el transporte de la energía de un punto a otro de la geografía española.

La mayoría de líneas de la red de transmisión de España operan en corriente alterna (50Hz) y son aéreas. Como su propio nombre indica las líneas aéreas conducen la corriente a una cierta altura del suelo, siendo sujetados los cables mediante apoyos de madera o metálicos que se combinan con herrajes, aisladores, cables de tierra y demás elementos de protección.



Existen 3 modelos de estructuración de una red de distribución y transporte:

1-- Red Radial o en Antena: únicamente se alimenta por un extremo y transmite la energía en forma radial a los receptores. A pesar de presentar una estructura simple y fácil de equipar con protecciones, no es muy utilizada ya que un fallo en el sistema implica la parada completa de transporte y suministro.

2-- Red en bucle o anillo: es más compleja que la anterior ya que dos de sus extremos están alimentados. Aun así no presenta una fiabilidad elevada por lo que su uso es también limitado.

3-- Red Mallada: Es el resultado de combinar los dos sistemas anteriores, es decir, se entrelazan anillos y líneas radiales formando mayas que aportan una mayor flexibilidad al modelo. Es la más común en la actualidad.

La distribución de energía en zonas rurales suele realizarse en red radial, por esta razón se producen más cortes totales de energía en estas áreas. Cuando hay un fallo en la línea, ésta se inhabilita completamente ya que no merece la pena invertir en sistemas más complejos cuando el uso de esta electricidad no es completamente imprescindible.

Según un informe de REE a fecha de 31 de diciembre de 2015, la red de transporte española presenta las cifras que se exponen en la siguiente tabla:

Tabla 2.1: Red de transporte actual [4]

	400 kV	≤220 kV			TOTAL
	Península	Península	Baleares	Canarias	
Líneas aéreas (km)	21062	18216	1673	1075	41442
Cable submarino (km)	29	236	423	30	718
Cable subterráneo (km)	88	501	161	242	993
Total líneas (km)	21179	18954	1673	1347	43153

A pesar de que la corriente alterna es la más utilizada, se están llevando a cabo un gran número de proyectos en corriente continua. Algunos de ellos tan importantes como:

State Grid Project: es una línea de corriente continua en construcción al norte de China que tendrá 2100 km de largo y transportará corriente a una tensión de 800 kV convirtiéndose en la línea de mayor capacidad del mundo. [5]

Proyecto Rómulo: funciona desde marzo de 2013 y consiste en la conexión de las islas Baleares a través de un cable de corriente continua por debajo del mar. Así se evita colocar generadores en islas turísticas muy pequeñas.

Alguna de las razones por la cual se está investigando e invirtiendo en la corriente continua se centran principalmente en la capacidad de transmitir grandes cantidades de potencia a una tensión muy elevada o en líneas subterráneas o submarinas en las que no es posible colocar subestaciones (usadas para compensar la potencia reactiva que se crea en corriente alterna).

## 2.4 Producción de electricidad

Existen diferentes técnicas para producir energía eléctrica. La gran mayoría de tecnologías se centran en aprovechar el movimiento de un fluido (agua, vapor de agua, etc.) para hacer girar una turbina, es decir, utilizan la energía mecánica transformándola en energía eléctrica.

El funcionamiento de las centrales de generación va a depender del tipo de energía primaria que utilicen para la creación de electricidad siendo las siguientes las más comunes:

- Central térmica: Utiliza el carbón, el gasóleo y el gas natural como combustibles. El calor generado durante dicha combustión calienta agua transformándola en vapor a alta presión. Este vapor es conducido a través de una turbina y un alternador para que éste produzca electricidad
- Central de ciclo combinado de gas natural: sigue un principio muy parecido a la central anterior pero con una mayor eficiencia ya que posee dos ciclos termodinámicos conectados a un mismo generador. En el primer circuito el fluido de trabajo es el agua y en el otro es un gas producto de una combustión.

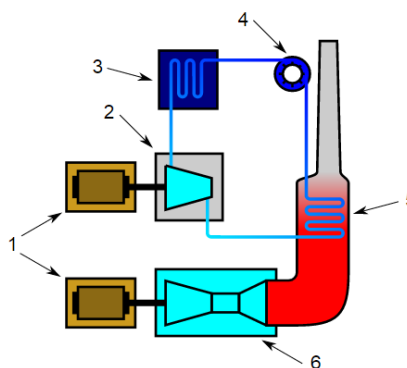


Figura 2.2: Esquema ciclo combinado [6]

- Central de biomasa: tienen el mismo funcionamiento que las centrales térmicas a diferencia de que el tipo de combustible utilizado es de origen renovable, la biomasa.
- Central nuclear: Al igual que en los anteriores casos, el calor será el encargado de producir vapor a alta presión que activará un generador. Sin embargo, ahora no se utilizarán combustibles fósiles sino que ese calor es obtenido en el proceso de fisión nuclear de átomos de uranio. Es en la actualidad la central que mayores cantidades de energía produce al día.
- Central hidroeléctrica: Se basa en la utilización de un salto de agua o caudal de agua para producir el movimiento de los álabes de una turbina. Se sitúan en zonas donde se produce una acumulación de agua ya sea de manera natural o artificial aprovechando el efecto de la gravedad, energía potencial, cuando existe un desnivel o aprovechando la energía cinética producida por un caudal de agua.
- Parques eólicos y solares: utilizan fuentes de energía totalmente renovables como son el viento y el sol respectivamente. En el caso del viento se aprovecha directamente la energía cinética de éste para mover las palas de un aerogenerador mientras que en las centrales termoeléctricas solares el Sol calienta un fluido cuyo vapor provoca un movimiento rotatorio y por lo tanto energía eléctrica.

Existen más tipos de centrales como las que aprovechan la energía mareomotriz o la energía geotérmica sin embargo no tienen buenos rendimientos y por consiguiente no son frecuentes.

Cabe destacar que no solo se produce electricidad partiendo de un movimiento mecánico sino que hay instalaciones donde se genera electricidad siguiendo otros métodos:

- Parques fotovoltaicos: se basa en la transformación directa de la radiación solar, captando mediante paneles la energía luminosa del Sol y transformándola en electricidad. El desarrollo de este tipo de generación es caro por lo que sigue siendo una técnica poco usada en comparación al resto.



Figura 2.3: Parque fotovoltaico más grande de España en Mula (Murcia) [7]

- Pilas de combustible o baterías: donde se utiliza la energía química directamente.

Las centrales eléctricas no se distribuyen en forma homogénea en el territorio ya que depende altamente de la disponibilidad de energía primaria que tenga esa región. Es por esto por lo que en muchas ocasiones las centrales de generación de energía se encuentran alejadas de las zonas con mayor consumo. De este modo será necesario crear un buen sistema eléctrico y una buena Red de Transporte que distribuya toda la energía producida a los diferentes puntos que lo necesiten. En la siguiente figura podemos comprobar claramente esta situación donde prácticamente no aparecen centrales generadoras en Madrid y sus proximidades, lugar donde se requiere la mayor cantidad de energía de la península [8].

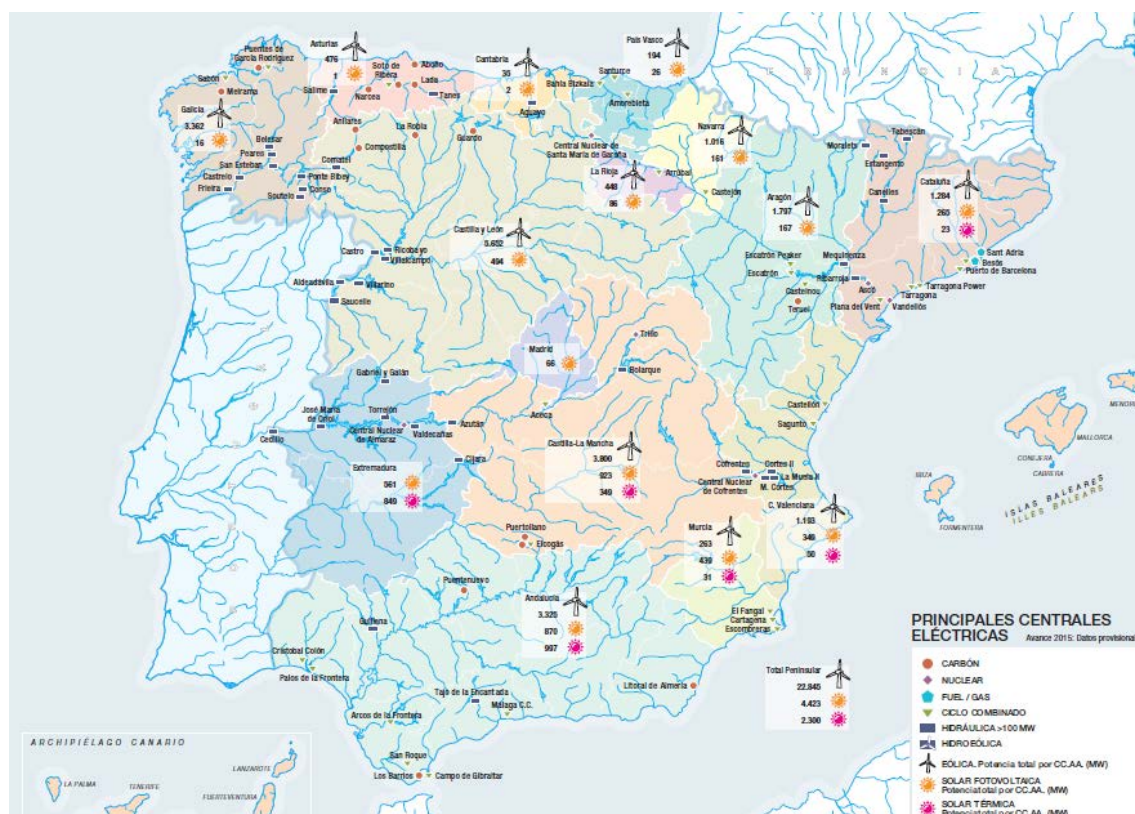


Figura 2.4: Centrales eléctricas distribuidas por el territorio español [9]

En la figura se puede observar como la mayor concentración de centrales eléctricas se produce en la parte noroeste de España. Comunidades como Galicia o Asturias presentan las condiciones climatológicas más favorables para la generación y es por ello por lo que el número de energía instalada es mayor. Las rachas de viento fuertes son frecuentes, sacándole el máximo rendimiento a la eólica. Lluve durante prácticamente todo el año lo que hace que los embalses y pantanos estén llenos y funcionen las centrales hidroeléctricas como las de Frieira, Castrelo o Belesar. También en la parte sur de la provincia de Cáceres o en la parte sur de la Comunidad Valenciana aparece una concentración notable de centrales. Sin embargo, la Comunidad de Madrid, que es el núcleo urbano más grande y donde se encuentran la mayor parte de las industrias de España, apenas tiene generación de electricidad. Por lo tanto, es

apreciable de nuevo la importancia de tener una buena red eléctrica que transporte la energía desde su generación en diferentes puntos de la península hasta ciudades como Madrid o Barcelona.

Realizando un estudio de la potencia instalada en el territorio español a día de hoy, se aprecia que las centrales de ciclo combinado y parques eólicos son las más utilizadas. Siendo la suma de estas un 46,5% de la potencia instalada contando todas las centrales en operación. Los niveles de potencia a día 31 de diciembre de 2015 de las diferentes fuentes de energía son presentados en la siguiente tabla:

**Tabla 2.2: Potencia instalada en España [10]**

	Sistema Peninsular [MW]	Sistema No Peninsular [MW]	Total Nacional [MW]
Hidráulica	18.668	1	18.669
Nuclear	7.866	0	7.866
Carbón	10.972	510	11.482
Fuel/gas	0	1.784	1.784
Ciclo Combinado	25.348	1.851	27.199
Hidroeólica	0	12	12
Hidráulica	2.109	0.5	2.109
Eólica	22.845	158	23.003
Solar Fotovoltaica	4.423	244	4.667
Solar Térmica	2.300	0	2.300
Térmica Renovable	984	5	989
Cogeneración y resto	7.098	121	7.219
Total	102.613	5.686	108.299

## 2.5 Operador del sistema REE

Para garantizar un sistema eléctrico fiable, seguro y continuo son necesarias una serie de decisiones y operaciones constantes. Estas son las funciones que desempeña el operador del sistema. Se encarga de la coordinación de la producción y la red de transporte, asegurando que la energía se traslada correctamente desde los generadores hasta las redes de distribución acorde con unas normativas vigentes de calidad y seguridad.

En el sistema español esta función es desempeñada por la empresa Red Eléctrica de España. Ésta fue fundada en 1985 y cuenta en la actualidad con más de 40.000 km de circuitos de alta tensión y más de 5.000 posiciones de subestaciones [9]. A través de su centro de Control Eléctrico (CECOEL) se controla en tiempo real todo el estado de la red y de la producción eléctrica. Esto se hace mediante un dispositivo informático de alto nivel tecnológico que relaciona los niveles de generación en las centrales y los niveles de consumo en viviendas e industrias. La interpretación de esta base de datos permite a los operadores de REE controlar la producción y establecer intercambios internacionales con el fin de hacer frente a las variaciones de demanda y a las posibles indisponibilidades de los equipos generadores.

Para un buen control del sistema será muy importante no sólo analizar lo ocurrido en el sistema en fechas anteriores sino la previsión de consumo y así marcar unas directrices de actuación que garanticen el correcto suministro.

REE se encarga también del control de energías renovables. El futuro de la energía se encuentra encaminado al aprovechamiento completo de este tipo de fuentes primarias. Sin embargo, dirigir la producción de las conocidas como energías limpias resulta complicado por varios motivos. Uno de ellos es que los niveles de producción son muy variables, al depender altamente de las condiciones ambientales, no se puede tener un control completo sobre la misma y su predicción resulta complicada. El Centro de Control de Energías Renovables (CECRE) de Red Eléctrica de España tiene en cuenta todas estas variables e integra la máxima producción de energía renovable en el sistema posible [9].

## 2.6 Demanda de electricidad

La sociedad del mundo contemporáneo necesita electricidad para poder realizar su actividad diaria. Desde el primer momento del día el ser humano comienza a consumir electricidad y lo hace de manera constante durante toda la jornada por lo que es imposible imaginar un mundo sin energía eléctrica. Este continuo consumo de electricidad se conoce como demanda eléctrica y su constante análisis y control presenta un papel fundamental para conseguir un correcto funcionamiento del sistema eléctrico.

El control de la demanda es una actividad que permite establecer ese equilibrio necesario entre generación y consumo. Existen numerosos parámetros que afectan a los niveles de demanda eléctrica y que han de ser estudiados cuidadosamente a la hora de realizar las previsiones pertinentes. La hora del día, la época del año, las condiciones climáticas, la situación de la actividad económica, etc. son algunas de las variables que influyen en el consumo de energía. Siguiendo estos parámetros el Operador del Sistema actuará de la manera adecuada para que nunca se produzca una sobreproducción de electricidad ni haya momentos del día en el que el consumo sea mayor que la generación. Esto puede ser fácilmente observable en lo que se conoce como curva de la demanda.

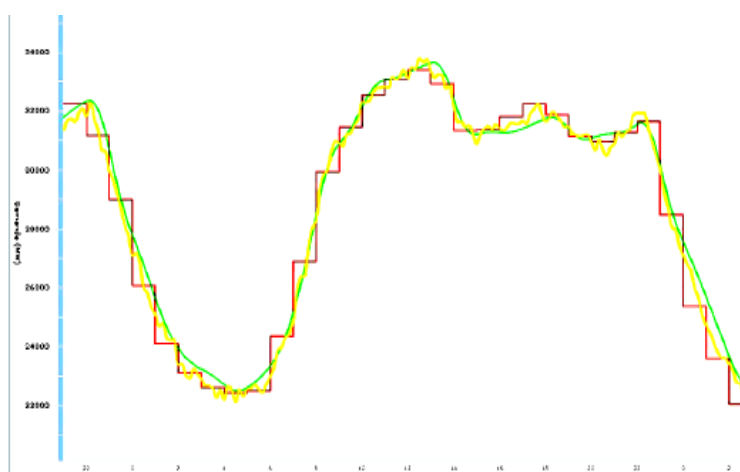


Figura 2.5: Curva Generación-Consumo [9]

En la figura 2.5 se muestra un gráfico con las diferentes curvas analizadas en el mercado diario, cada color representa un parámetro diferente:

- Curva Amarilla: Demanda real
- Curva Verde: Predicción de demanda
- Línea escalonada roja: Producción programada para los generadores

## 2.7 Operador del mercado

El Mercado Ibérico de la Electricidad (MIBEL) tiene el objetivo de promover la integración de los sistemas eléctricos de España y Portugal. Mediante la cooperación y armonización de las condiciones entre los dos sistemas eléctricos ibéricos se consigue obtener unos beneficios para los consumidores de ambos países.



En el MIBEL, generadores y consumidores de España y Portugal presentan sus ofertas de compra y venta de energía. Tras la sesión del mercado, se produce la casación y se establece el programa de energía. Cuando la interconexión no supera el máximo de capacidad establecido por los operadores se conoce como acoplamiento de mercados. En esta situación el precio de la energía será el mismo en España y Portugal. Por el contrario, si los mercados están desacoplados, es decir, el flujo de energía no supera el máximo fijado el precio de la electricidad variará dependiendo del país. La diferencia de ambos precios genera las denominadas rentas de congestión, que serán repartidas.

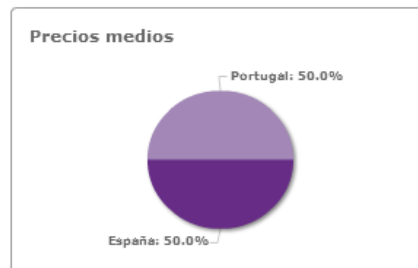


Figura 2.6: Situación mercado a día 15 marzo 2016 [11]

Como muestra la figura 2.6, a día 15 de marzo de 2016 los datos oficiales de la web de OMIE indican que el precio de la electricidad es el mismo para España y para Portugal, estableciéndose en un valor de 41,62EUR/MWh.

Antes de que apareciese OMIE, el sistema eléctrico español no estaba liberalizado, es decir, era un sistema regulado por el Gobierno en el que éste establecía el precio de la electricidad. En 1997 se produjo esta liberación y en enero de 1998 OMEL comenzó su andadura como operador del sistema eléctrico español.

En la actualidad, la actividad reguladora de mercado en el sistema ibérico se divide entre OMI-Polo Portugués (OMIP) y OMI-Polo Español (OMIE) que se dedica a la regulación del mercado diario e intradiario. Esta entidad es la responsable de ciertas tareas que mantienen el funcionamiento del sistema eléctrico y ayudan al avance y desarrollo del mismo. Alguno de sus principales cometidos está relacionado con la recepción de las ofertas de venta de generadores, comercializadores y ofertas de adquisición de energía tanto del mercado diario como del intradiario. Realizan el casamiento de esas ofertas (venta y adquisición) y determinan los precios finales de la energía. Es necesario por lo tanto comprender que actividades se realizan en el mercado diario e intradiario y quienes participan en cada uno de ellos:



- \* Mercado diario: participan agentes vendedores tales como importadores, intermediarios, productores, etc. y agentes compradores como comercializadores, exportadores, consumidores directos,... Este mercado se celebra el día anterior a la entrega de energía y cada uno de los participantes presenta sus ofertas de compra y venta. De este modo y bajo la supervisión del operador de mercado (OMIE) se produce la casación de energía para cada una de las 24 horas del día siguiente. Su funcionamiento está sujeto a unas normas reglamentadas expuestas en la Ley del Sector Eléctrico 54/1997.

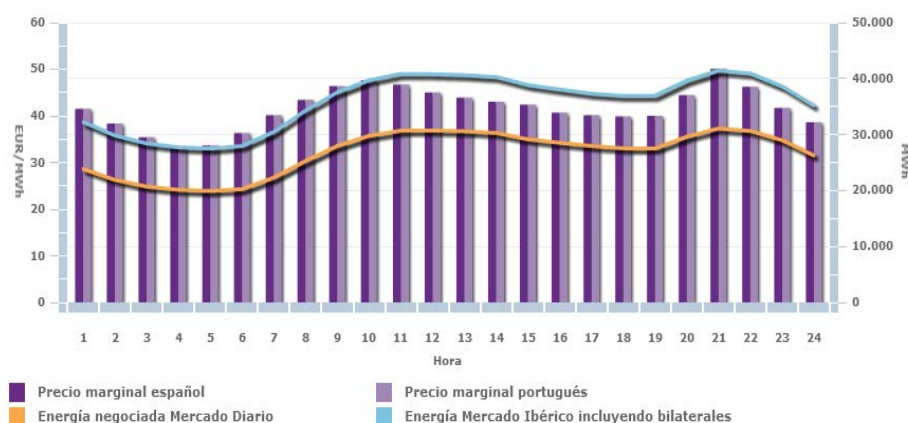


Figura 2.7: Precio horario del mercado diario. Día 15 marzo 2016 [11]

- \* Mercado intradiario: después del mercado diario se suceden seis sesiones de mercado adicionales. Pueden producirse ciertas desviaciones en la previsión de la demanda o incidencias en las instalaciones de generación que provocan errores a la hora de satisfacer la curva de generación/consumo. Es por esto por lo que OMIE gestiona diferentes restricciones y ajustes que hacen que se solventen dichos percances. Los agentes que participan en el mercado intradiario proponen soluciones siempre cumpliendo los criterios de seguridad del sistema y obteniendo tras ello el Programa Horario de Funcionamiento (PHF).

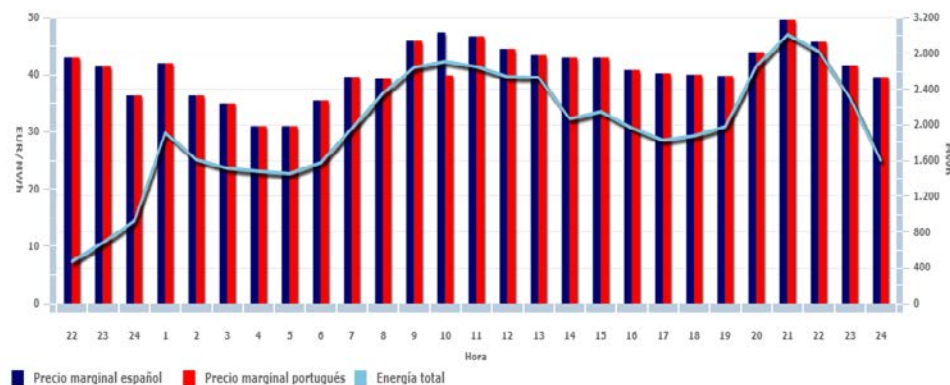


Figura 2.8: Precio horario por sesión mercado intradiario. Día 15 marzo 2016 [11]

En las dos figuras anteriores, 2.7 y 2.8, se muestran las gráficas con el precio de la electricidad obtenido en el mercado diario e intradiario respectivamente. Dichos precios fueron los aplicados el día 15 de marzo de 2016, fecha en la que se realizó la consulta a la página web oficial de OMIE.

Durante el año 2014 OMIE registró unas cifras realmente elevadas, gestionó transacciones por valor de 11.000 millones de euros. En la actualidad más de 800 agentes operan en este mercado ya que está abierto a todos los compradores y vendedores que quieran participar en él, por esta razón el número de transacciones se puede elevar hasta los 13 millones al año [11].

Se puede observar que los precios establecidos por OMIE son comparables a los del resto de mercados europeos como los que implantan Nord Pool Spot en los países nórdicos, EPEXSpot en Francia o GME en Italia.

### 3 CAPÍTULO 3: DEMANDA INDUSTRIAL DE LA ELECTRICIDAD

#### 3.1 Demanda eléctrica en España

La necesidad de mantener el sistema eléctrico controlado en tiempo real para equilibrar en todo instante los niveles de producción y de consumo de electricidad, hace que el estudio y previsión de evolución de la demanda se convierta en un factor fundamental para el correcto funcionamiento del sistema. En España esta función la lleva a cabo el operador del sistema (REE), realizando reuniones diarias en las que se analizan y se prevén todos los consumos. En el territorio español, los consumidores pueden ser divididos en varios tipos dependiendo del uso al que esté destinada la energía eléctrica que consumen.

Según el informe expedido por la Comisión Nacional de Energía en 2015 [12] el número de clientes en cada sector fue:

Tabla 3.1: Número de clientes ordenados según el sector de consumo [12]

SECTOR	NÚMERO DE CLIENTES	PORCENTAJE
Industria y Construcción	430.000	1.8%
Comercio y Servicios	2.880.000	12.1%
Residencial	20.040.000	84.1%
Otros	450.000	1.9%
TOTAL	23.800.000	100.0%

Acorde con el informe anual del sistema eléctrico de España proporcionado por REE, se conocen los valores totales de electricidad consumida en el territorio español en 2015.

Tabla 3.2: Electricidad consumida en España ordenada según sector de consumo [13]

SECTOR	ENERGÍA CONSUMIDA [GWh]	PORCENTAJE
Industria y Construcción	97.344	37%
Comercio y Servicios	78.928	30%
Residencial	65.773	25%
Otros	21.048	8%
TOTAL	263.094	100%

Analizando ambas tablas se puede observar lo siguiente:

- ❖ Industria y Construcción: Según la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC) en 2015, el sector de la Industria y la Construcción tan solo representa el 1,8% de los consumidores de electricidad en cuanto a número de clientes. No obstante, la cantidad de electricidad consumida por cada uno de ellos es muy elevada, y esto hace que el consumo de electricidad en la industria y la construcción represente el 37% del total de la energía eléctrica consumida en España.
- ❖ Comercio y Servicios: La cantidad de usuarios que utilizan la energía en el ámbito del comercio y los servicios no es demasiado elevado, aproximadamente un 12% de los consumidores totales.
- ❖ Residencial: Corresponde con aproximadamente el 80% de los consumidores. Sin embargo, los niveles de energía consumida por cada cliente son realmente bajos por lo que el consumo es tan solo  $\frac{1}{4}$  del total.

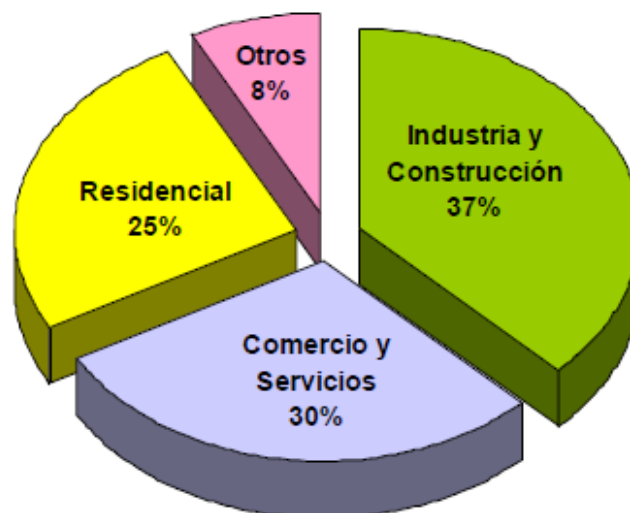


Figura 3.1: Porcentajes de consumo de electricidad en 2015 ordenado por sectores [12]

La figura anterior es una representación en forma de gráfica de lo mostrado en la tabla 3.2. Examinándola y comparándola con la tabla 3.1 mostrada previamente se puede confirmar que el consumo de electricidad por sector no es proporcional al número de clientes en cada uno de ellos. La industria y construcción a pesar de presentar el porcentaje más bajo en cuanto a usuarios de electricidad es el sector más influyente en el desarrollo de la demanda en España.

Analizando los picos de demanda sufridos en España durante los últimos años y gracias a los informes oficiales del operador del sistema [14] es observable en la figura 3.2 como los valores máximos de hace media década eran notablemente mayores que los experimentados en 2014 o 2015. A pesar de estar próximos, el día de máximo consumo total no suele coincidir con el día en el que se experimentó la punta de consumo (hora de máximo consumo). Esto es debido a la gran variación que experimenta la curva de la demanda a lo largo de la jornada. También es observable como el pico máximo de demanda en verano suele ser inferior al registrado en invierno por causas tan evidentes como el uso masivo de sistemas de calefacción o la necesidad de permanecer en casa por falta de luz solar o por climatología adversa. No obstante, estos valores son variables y la consecución de inviernos suaves y veranos calurosos de los últimos años ha hecho que la diferencia se vea reducida.

## MÁXIMA DEMANDA HORARIA Y DIARIA

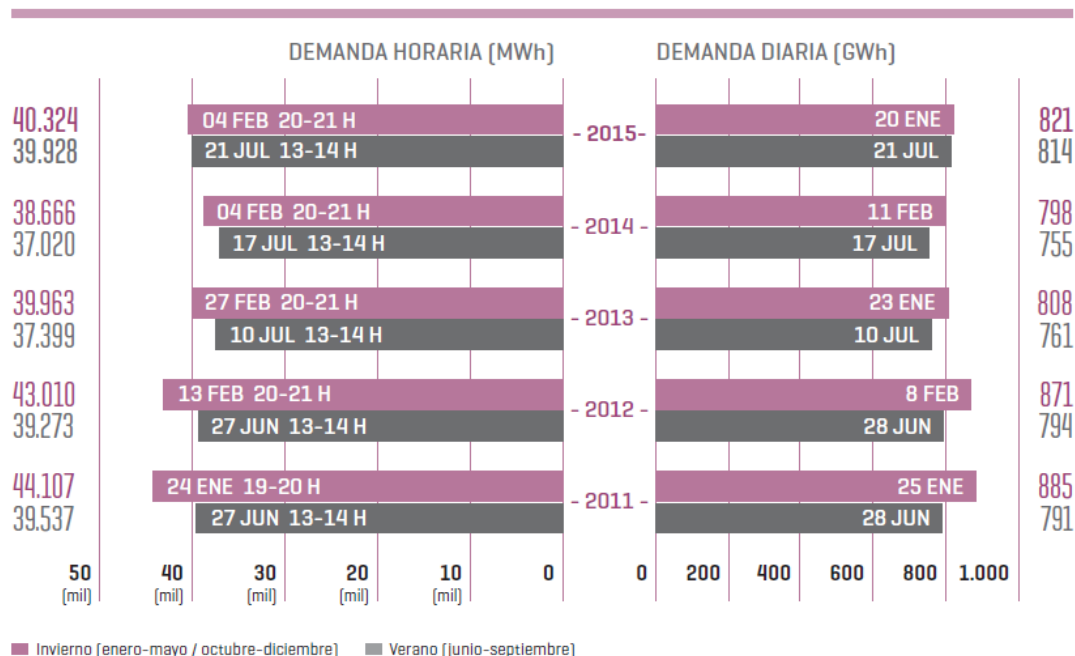


Figura 3.2: Picos de consumo en España divididos por día y hora de los últimos 5 años [14]

## 3.2 Demanda Industrial

Como ya ha sido comentado previamente, existen múltiples factores que influyen en las curvas de consumo de electricidad en España. Uno de los parámetros más importantes a la hora de estudiar el consumo corresponde a la demanda industrial de electricidad, es decir, el consumo que se produce en las industrias como consecuencia de la realización de sus actividades de producción. Este capítulo presentará la evolución de la demanda de la electricidad por parte de la industria sufrida en nuestro país, las principales técnicas de ajuste de energía llevadas a cabo por el Operador y en general, la importancia de las industrias en el equilibrio del sistema.

Existen sectores industriales que son especialmente influyentes en la demanda ya que precisan de una mayor cantidad de electricidad para sus tareas. Algunos ejemplos fundamentales en el territorio español son:

- Cementeras:

En la industria dedicada a la producción de cemento, es decir, en las fábricas conocidas como cementeras se consume una gran cantidad de electricidad. Esto se debe principalmente a las siguientes operaciones que son realizadas en una cementera:

- Extracción y trituración de la materia prima
- Homogenización
- Molida del crudo
- Fabricación del Clinker
- Expedición

Todas las tareas anteriores son fases necesarias para la obtención del cemento en las que se requiere de maquinaria especializada con altos niveles de consumo. Especialmente, la operación más costosa energéticamente es la encargada de proporcionar movimiento a los molinos. Las industrias cementeras presentan un comportamiento modular, es decir, los picos de gasto de energía son variables dependiendo de la operación realizada. Por ejemplo, cuando los molinos están en funcionamiento el consumo se dispara. Por ello las industrias cementeras pueden participar activamente en el control de la demanda. Pueden adaptar el uso de los molinos a ciertas horas para rellenar los valles en la curva generación/consumo [15].

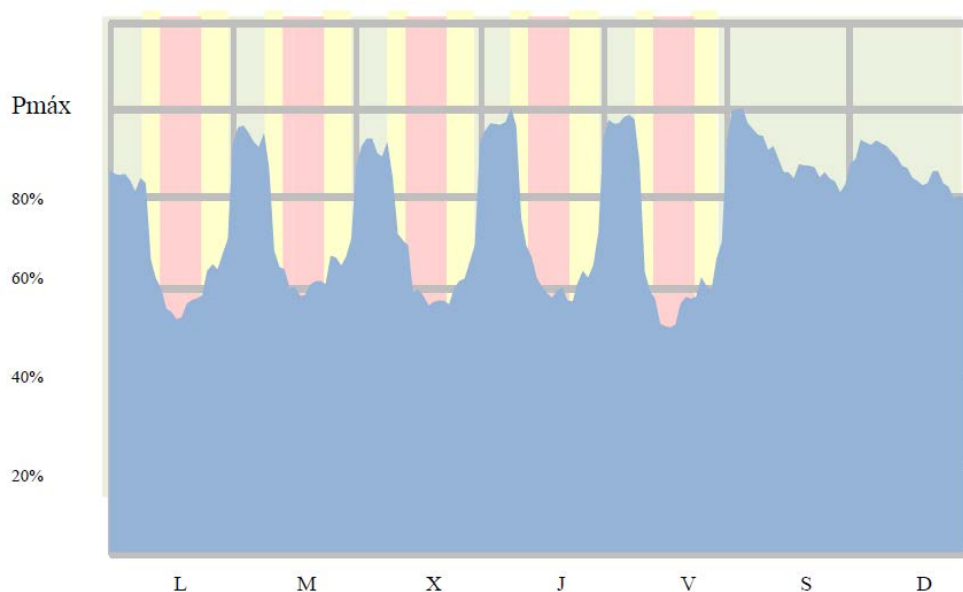


Figura 3.3: Patrón de consumo eléctrico semanal de una cementera [16]

En la figura 3.3 se puede observar como el consumo sigue prácticamente el mismo patrón de lunes a viernes. Sin embargo, durante el fin de semana la actividad de la cementera y por lo tanto su consumo eléctrico se mantienen constante casi al máximo nivel ya que demanda de electricidad en el sistema es más baja y como consecuencia el precio.

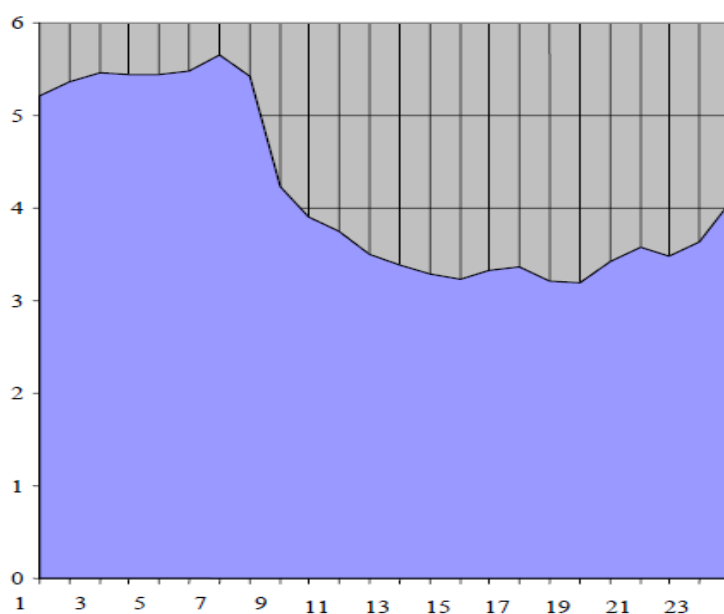


Figura 3.4: Reparto por horas de la energía diaria demandada por una cementera [16]

Si se analiza un único día como en la figura 3.4, se ve como la subida de consumo se realiza por las noches, cuando la energía es más barata.

De esta forma, las cementeras son capaces de adaptar su funcionamiento y como consecuencia el consumo de energía de tal manera que beneficia el comportamiento del sistema eléctrico (rellenando las horas valle de la demanda) y a la fábrica propiamente dicha (consiguiendo precios más bajos de la electricidad).

- Siderurgias:

Una siderurgia es una industria que se centra en la extracción y transformación del hierro (chatarra o mineral). Cuando la materia prima es el mineral de hierro, la actividad se realiza en altos hornos. Los altos hornos son instalaciones industriales que trabajan a muy elevadas temperaturas que provocan la fundición del hierro.

En la industria siderúrgica se pueden distinguir dos tipos de plantas dependiendo de los procesos que allí se lleven a cabo:

- Proceso integral:
  - Descarga, clasificación y almacenamiento de materias primas
  - Fusión en altos hornos
  - Transporte de arrabio
- Proceso no integral:
  - Descarga, clasificación y almacenamiento de la chatarra
  - Fusión en hornos eléctricos
  - Transporte del arrabio

Como es evidente durante un proceso integral, la cantidad de energía eléctrica consumida es mucho menor a la de un proceso no integral. Las tareas de almacenamiento y transporte (carros, cintas transportadoras, etc.) son muy similares en ambos procesos por lo que la diferencia en el consumo se producirá principalmente en la operación de fusión del hierro o la chatarra. El alto horno alcanza sus elevadas temperaturas debido principalmente a la combustión del coque por lo que no es ni siquiera comparable con la cantidad de electricidad empleada para la fundición del hierro en un horno eléctrico [17].



Al igual que ocurría con las cementeras, la industria siderúrgica funciona con un ciclo modular, maximizando consumos en horas valle, por ejemplo durante el fin de semana aumentando su consumo de electricidad en este periodo donde el precio de la electricidad (€/MWh) es menor.

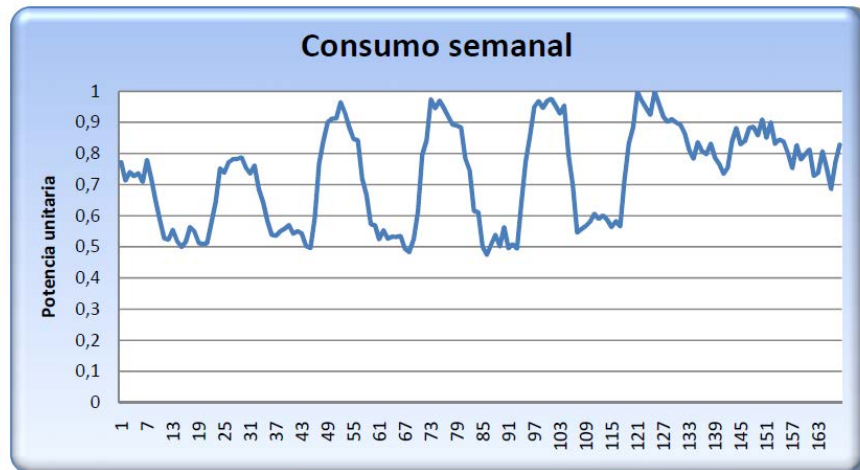


Figura 3.5: Patrón semanal de consumo de una siderurgia [18]

En la figura 3.5 se puede apreciar claramente esa tendencia irregular a lo largo de la semana y un consumo elevado y constante durante el fin de semana.

- Industria del papel:

La industria del papel se encarga de la utilización de recursos naturales como las fibras de celulosa presentes en las plantas y vegetales (caña de azúcar, algodón, cereales,...) para convertirla en una gran variedad de productos finales que van desde el cartón de grado de construcción a papel de escritura fino.

Los procesos de elaboración del papel difieren en el rendimiento y la calidad del producto, y en los métodos químicos, en los productos químicos utilizados. La industria incluye un sector primario (molinos de pulpa, molinos de papel y molinos de cartón) y un sector de conversión.

Especialmente la tarea en la que se utilizan los molinos para la elaboración de la pasta es la que más energía eléctrica demanda. Además, es durante este proceso cuando se decide qué nivel de calidad y robustez necesita el papel dependiendo de su uso. Es por esto por lo que la operación debe ser más controlada y la energía eléctrica utilizada es mayor.



Figura 3.6: Elaboración de la pasta en una fábrica de papel [19]

En la figura 3.6 se muestra la actividad mediante la que se obtiene la pasta del papel en una fábrica papelera.

Además de la elaboración de la pasta, hay otras operaciones consideradas como electro-intensivas en la industria del papel [18].

- Obtención de las materias primas
- Producción de papel y transformados
- Blanqueo
- Agregación de aditivos

La forma que presenta la demanda de energía por semana del sector del papel se asemeja a lo siguiente:

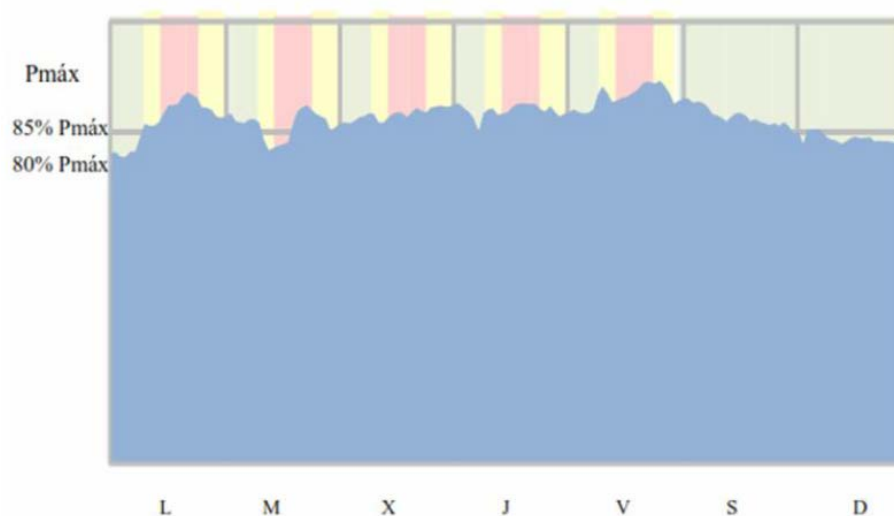


Figura 3.7: Consumo semanal de una fábrica de papel [16]

Como se aprecia en la figura 3.7, el consumo de electricidad no sufre prácticamente variaciones, siempre se encuentra entre el 80% y el 100% de su potencia máxima. A diferencia de los dos sectores industriales comentados previamente, la industria del papel está mucho más restringida a la hora de prestar servicio al control de la demanda industrial.

- Industria química:

La industria química se ocupa de la extracción y procesamiento de materias primas con el fin de fabricar bienes de consumo. Dichas materias, ya sean naturales o sintéticas se transforman en otras sustancias con propiedades diferentes a las que tenían originalmente para satisfacer necesidades de la sociedad. Existen dos tipos de industrias químicas:

- Industria química de base: los productos elaborados son conocidos como productos intermedios, es decir, también pueden ser materias primas para otras industrias. Algún ejemplo de productos obtenidos en la química de base son el acetileno, el metanol o el ácido nítrico.
- Industria química de transformación: suelen emplear materias procedentes de las industrias químicas de base y se encargan de transformarlas hasta conseguir un producto destinado al consumo directo de las personas. Algunos productos significativos son los medicamentos, los fertilizantes o los colorantes.

La producción de plástico mediante síntesis también se la atribuye al sector químico. Dada la gran cantidad de energía eléctrica necesaria para realizar sus tareas, se puede considerar como otra de las industrias destacables en cuanto a la demanda de electricidad [20].

Evaluando una vez más la demanda semanal de electricidad, se observa en la siguiente gráfica la distribución modular de una planta química.

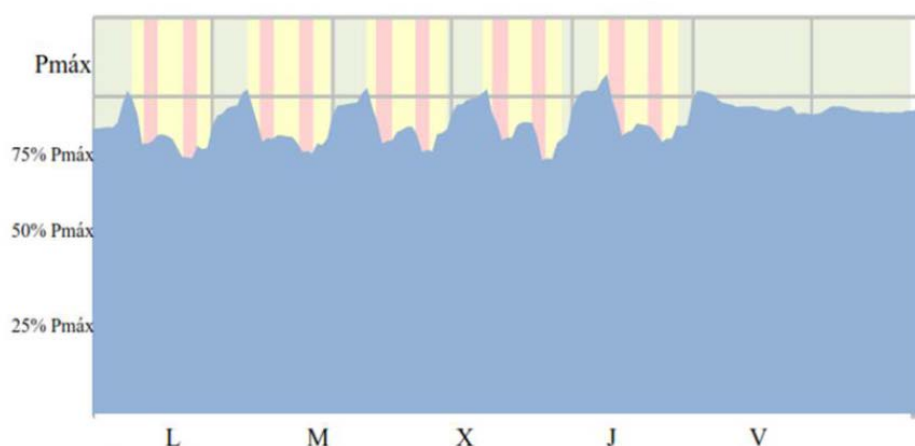


Figura 3.8: Consumo semanal de una planta química [16]

Como se puede observar en la figura, el comportamiento de la industria química es el adecuado para una participación activa en la demanda ya que es modular y permite adaptar su consumo a las exigencias del sistema eléctrico en cada momento. A pesar de que las variaciones a lo largo del día son menos bruscas que en la industria cementera o siderúrgica, las industrias químicas también se pueden aprovechar del llenado de valles de la demanda y trabajar en horas en las que el precio de la electricidad es menor.

- Metalurgia no férrea:

La metalurgia no férrea comprende el procesado de todos los metales a excepción del hierro. Gracias a las propiedades ventajosas que estos materiales tienen con respecto al hierro (menor peso específico, mayor resistencia a la oxidación, fácil mecanizado, etc.) su uso es muy común. Por este motivo, existen numerosas industrias y fábricas activas en la actualidad produciéndose por lo tanto un considerable consumo eléctrico en las mismas.

Los altos niveles de contaminación medioambiental producidos por este tipo de industrias (emisiones de polvo, compuestos metálicos, dióxido de azufre,...) provocan que las emisiones estén altamente controladas y los mecanismos sean aún más sofisticados. La desaparición eminente de minas naturales hace que sea necesario realizar actividades de reciclaje. Por motivos como estos los sistemas usados en la metalurgia no férrea requieren de una gran cantidad de potencia eléctrica, disparando el consumo en este sector [21].

Los metales más influyentes dentro de la metalurgia no férrea son: el cobre, el aluminio y el zinc. Durante el procesado de todos ellos, en especial en el del zinc, es necesaria la utilización de procesos químicos. Como ya se comentó en la sección de la industria química, actividades como la electrolisis necesitan grandes cantidades de electricidad.

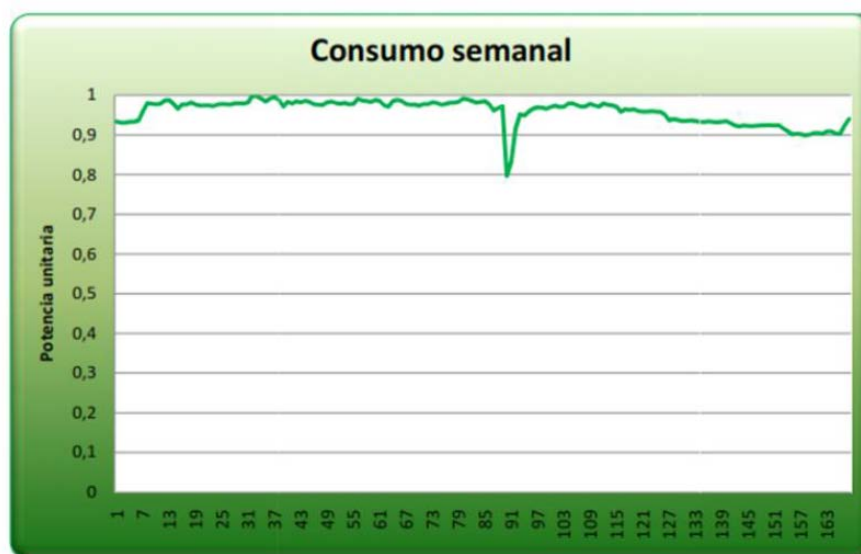


Figura 3.9: Patrón de consumo semanal de una planta de procesado de Zinc [18]

En la figura 3.9 se observa como el consumo eléctrico de una planta de zinc se aproxima a su máxima potencia durante toda la semana. A pesar de que se produce un pequeño descenso durante el fin de semana, la estructura no es modular como ocurría en el sector del cemento o la siderurgia.

### 3.3 Evolución de la demanda industrial

La demanda de electricidad es continuamente cambiante en el tiempo. Son muchos los factores que influyen en su comportamiento. Uno de los más significativos es la situación económica en la que se encuentra el país, éste puede ser observable no tanto día a día sino con el paso de los años.

La crisis económica sufrida en España desde ya algunos años hizo que se produjese un descenso de la demanda industrial en nuestro país (cierre de fábricas, reducción en la producción, etc.) como se puede apreciar en la figura 3.10

## EVOLUCIÓN DE LA DEMANDA

Año	GWh	$\Delta$ Anual [%]
2011	255.597	-1,9
2012	252.014	-1,4
2013	246.368	-2,2
2014	243.544	-1,1
<b>2015</b>	<b>248.181</b>	<b>1,9</b>

Figura 3.10: Evolución de la demanda eléctrica en España en porcentajes [13]

En la figura 3.10, se observa que la demanda de energía eléctrica peninsular finalizó el año 2015 en 248.2 TWh, un 1,9% superior a la del pasado año. Este crecimiento se atribuye principalmente a la mejora en la actividad económica y contrasta la caída del 1,1% que se experimentó en 2014.

Como ya ha sido comentado anteriormente, existen multitud de factores que condicionan la demanda de energía eléctrica. No obstante, aparecen algunos parámetros concretos sobre los que se ha realizado un estudio más exhaustivo para comprobar ciertamente su importancia como se presenta en la siguiente figura.

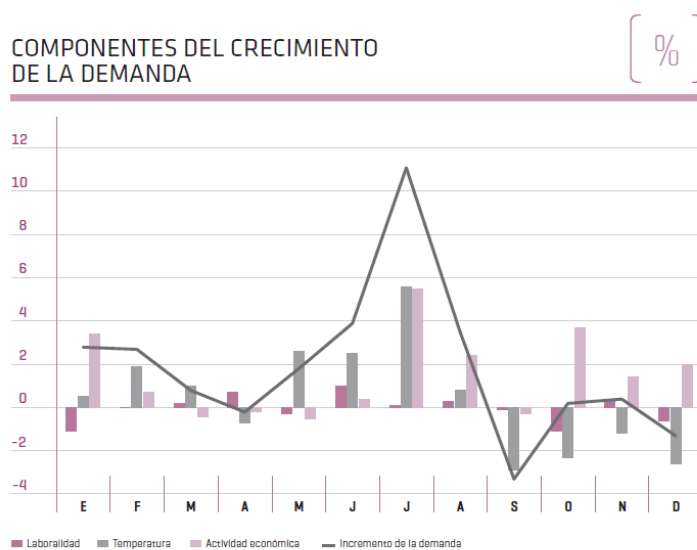


Figura 3.11: Factores condicionantes del crecimiento de la demanda por meses [14]

En la figura 3.11 se muestra la evolución de la demanda eléctrica en 2015 y de sus principales componentes: la laboralidad, la actividad económica y la temperatura en cada mes. Se observa como el pico de crecimiento de 2015 se encuentra en el mes de julio, periodo con una mayor actividad económica y una temperatura más elevada que la del resto del año.

## 3.4 Participación de la demanda industrial en la operación del sistema

### 3.4.1 Mecanismos de ajuste

A la hora de ajustar el sistema eléctrico, el control sobre el consumo es el parámetro más importante y a su vez más complicado de realizar. Para conseguir mantener el sistema eléctrico dentro de unos límites de fiabilidad y seguridad han de llevarse a cabo una serie de servicios necesarios que mantienen la curva de la oferta y la demanda equilibrada.

Estas técnicas se conocen como Mecanismos de ajuste y tienen como objetivo mantener el sistema eléctrico en equilibrio y dentro de un nivel de seguridad adecuado. Se pueden clasificar de la siguiente manera [22]:

#### → Gestión de restricciones técnicas

Este servicio permite resolver las congestiones que se puedan ocasionar por las limitaciones de la red de transporte en la programación prevista para el día siguiente. Del mismo modo, con la gestión de restricciones técnicas se solucionan las congestiones causadas en tiempo real.

El operador del sistema realiza el proceso de análisis en el que utiliza modelos de flujos de red y otros algoritmos para simular el estado en el que quedaría el sistema eléctrico ante determinados fallos predefinidos en ciertos elementos de la red (defectos en grupos generadores, líneas o transformadores).

En el caso de amenaza de congestión del sistema, la solución que el Operador propone consiste principalmente en la alteración del programa de generación aplicando criterios técnicos de seguridad, es decir, incrementando o reduciendo el Programa Diario Base de Funcionamiento (PDBF).

### → Gestión de servicios complementarios

Este tipo de servicios son ofrecidos por los generadores y gestionados por el Operador del Sistema. Su fin último es el de garantizar un suministro fiable y seguro en cualquier instante de tiempo. Del mismo modo, con la gestión de servicios complementarios se resuelven desequilibrios entre la producción y consumo a tiempo real [23]. Existen tres servicios básicos:

- ⇒ Regulación primaria. Se centra en los desequilibrios instantáneos de frecuencia que puedan producirse. Este servicio es automático (en unos 30 segundos) y obligatorio por lo que no presenta ninguna remuneración adicional.
- ⇒ Regulación secundaria o Banda de Regulación. Su objetivo es la corrección de desequilibrios significativos entre generación y demanda. Esto permite al Operador del Sistema disponer de una reserva de capacidad muy flexible (en caso de riesgo deben responder en 30 segundos). Cada día, a través de la estimación de potencia del Operador y con la participación de los mercados diarios se establece la reserva de banda de regulación. El servicio secundario es gestionado por zonas de regulación (actualmente 10 zonas en el sistema eléctrico español). Los participantes tienen una exigencia temporal de respuesta de 100 segundos. Este servicio remunera tanto a la banda de potencia como a la energía eventualmente utilizada.
- ⇒ Regulación terciaria. En el caso de que se haga uso de la banda secundaria, la regulación terciaria restituye la reserva de banda. El mercado para la energía terciaria se celebra a última hora del día anterior al despacho. Se activa de forma manual, subiendo o bajando la potencia de las centrales de generación o consumo de bombeo que hubieran ofertado al menor o mayor precio de recompra dependiendo si es energía a subir o a bajar respectivamente. Este servicio es de carácter obligatorio para aquellas unidades de producción que puedan ofrecerlo, es decir, todos los sectores que puedan variar su producción en un tiempo no superior a 15 minutos y mantener la variación durante 2 horas deben ofrecer toda su capacidad al Operador del Sistema.

### → Gestión de Desvíos

Es el mecanismo que utiliza el Operador del Sistema para resolver desequilibrios entre la oferta y la demanda que puedan identificarse unas pocas horas antes del despacho.

Consiste en pedir ofertas a los generadores de manera opuesta a los desvíos previstos en el sistema. Esto quiere decir que si se aprecia que la estimación es demasiado corta se piden ofertas de mayor producción a los agentes productores para generar más



energía, por el contrario, si se considera que el programa previsto es demasiado largo se considera que sobra energía y se pide a los generadores reducir su producción.

En este mecanismo se debe tener muy en cuenta lo que se conoce como la Liquidación de los desvíos. El sobrecoste horario originado por la aparición de desvíos en el sistema repercute a los agentes que se hayan comportado en contra de las necesidades del sistema.

Por lo tanto, si el desvío era a subir (más demanda de la estimada) el sobrecoste lo pagarán aquellos agentes que hayan producido de menos o consumido de más. Si el desvío neto era a bajar se actuará del mismo modo con los agentes que hayan consumido de menos o producido de más [24].

### 3.4.2 Modelos alternativos y servicios de emergencia

Además de los mecanismos de ajustes llevados a cabo por el Operador del Sistema explicados en la sección previa, existen otras técnicas de gestión de la demanda ante situaciones de desequilibrio.

En algunos casos donde la punta de consumo es muy elevada o donde se produce una pérdida súbita de generación, el Operador del sistema recurre a técnicas de emergencia. Destaca el conocido como Servicio de Interrumpibilidad.

**Servicio de Interrumpibilidad:** Esta técnica radica en la posibilidad de parada o reducción de potencia y por lo tanto, de consumo de una industria que se considere significativa para la demanda del sistema. Mediante este modelo el operador del sistema consigue que la demanda industrial disminuya y que la curva generación/demanda no alcance valores ni diferencias críticas. A cambio, la industria recibe un incentivo económico.

Actualmente todos los aspectos normativos relativos a la interrumpibilidad se rigen por la Orden IET/2013/2013 del 31 de octubre y la Orden IET/1752/2014 del 26 de septiembre. En estos boletines se dice que Red Eléctrica (bajo la supervisión de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia) es la empresa responsable de organizar y gestionar el nuevo sistema de asignación del servicio de interrumpibilidad. Este nuevo método consiste en un sistema de subastas con pujas presenciales denominado reloj descendente. De este modo la asignación del servicio de emergencia es mucho más eficiente y competitiva [9].

El sistema está informatizado y consiste en el establecimiento de un precio de salida elevado que irá disminuyendo a medida que avanza la subasta. Por lo tanto, el competidor que más aguante sin retirarse de la puja será el escogido para prestar el servicio, lo cual significa que está dispuesto a hacerlo al precio más bajo.

Tan solo Red eléctrica y la CNMC conocerán las pujas realizadas en cada subasta. Una vez que la subasta ha sido cerrada, la CNMC confirmará que el proceso se ha realizado de forma objetiva, competitiva y no discriminatoria y será entonces cuando Red Eléctrica haga públicos los resultados del mismo [25].

La interrumpibilidad tan solo se utiliza en contadas ocasiones pero la posibilidad de contar con servicios preventivos como este hace que el sistema sea mucho más flexible y seguro. Una punta de consumo extraordinaria o una pérdida repentina de generación son algunos de los motivos fundamentales por los cuales la interrumpibilidad se convierte en necesaria para evitar apagones y fallos en el sistema eléctrico. Pero no sólo se usa la interrumpibilidad cuando existe una emergencia sino que en algunas ocasiones tiene un motivo económico. Si la interrupción resulta menos costosa que el servicio de ajuste Red Eléctrica podrá hacer uso de este sistema.

La regulación ha cambiado recientemente y sectores como el de las energías renovables están comenzando a participar en los servicios de ajuste. En febrero de 2016 la compañía Enel Green Power España (participada en un 40% por Endesa y en un 60% por Enel) se ha convertido en la primera renovable en ser habilitada para prestar servicios de ajuste. De esta forma los parques eólicos de Alto Casillas I y II (Valencia), de Lanchal (Castilla León) y el de Las Angosturas (Andalucía) podrán participar activamente para cubrir los desfases que pueden producirse en el sistema [26].

## 4 CAPÍTULO 4: PROYECTO INDUSTRE

### 4.1 Objetivos

IndustRE es un proyecto energético que se está llevando a cabo en diferentes países de Europa cuyo objetivo principal es el de facilitar la inserción de las energías renovables en el sector industrial. De este modo y mediante modelos analizados detalladamente se conseguirán beneficios tanto para las industrias (por el ahorro en el precio de la electricidad y las primas por el uso de renovables) como para el medioambiente. Esto se conoce como “win-win situations” y es la premisa primordial en IndustRE.

Desde enero de 2015 y hasta 2018, IndustRE tratará de establecer esas conexiones energéticas para conseguir un futuro próspero del sistema eléctrico europeo.



Figura 4.1: Logo del proyecto [27]

El proyecto está impulsado por la Unión Europea y coordinado por WIP Renewable Energies. Su financiación va a cargo del Programa Marco de Investigación e Innovación de la Unión Europea “Horizonte 2020” bajo el acuerdo No 646191 [28].

Tiene su sede principal en Alemania pero además, IndustRE se está implementando en España, Italia, Bélgica, Francia y Reino Unido. Estos 6 países contienen el 65% de la población total europea y en sus territorios está instalada más del 80% de la potencia eólica y solar de Europa.

IndustRE centra su modelo en 5 sectores industriales:

- \* Químico
- \* Metales no férreos
- \* Acero
- \* Almacenamiento frigorífico
- \* Tratamiento de agua

En IndustRE participan expertos y compañías líderes en Europa en el sector de la energía eléctrica intensiva, en el sector de las energías renovables o expertos en el mercado eléctrico entre otros. El modelo de negocios que pretende introducir IndustRE beneficiaría tanto a industrias como a plantas generadoras y todo ello cumpliendo el marco regulador de la Unión Europea.

## 4.2 Presentación general del proyecto

Hasta el momento y debido a la dificultad de almacenamiento de electricidad en grandes cantidades es necesario en cada instante tener en equilibrio la electricidad producida y consumida. Para ello, por lo general se actúa sobre la oferta incrementando o disminuyendo la generación de electricidad. Pero con las fuentes de energía renovables esto no es tan sencillo ya que depende principalmente de las condiciones climatológicas (intensidad del viento, radiación solar, niveles de precipitaciones,...) por lo que se debe actuar de una manera aún más metódica y eficaz.

Siguiendo el desarrollo de IndustRE desde sus comienzos, el pasado año se pudo observar una variación en sus estrategias adaptándose a las consultas de la Comisión Europea (*European Commission on Electricity Market Design*). Gracias a estos consejos el proyecto está actualizando sus modelos de negocios para adaptarse a los diseños de mercado. Trabajando en conjunto con los actores clave, IndustRE centra su actuación en la maximización de las contribuciones de respuesta de la demanda industrial a un sistema eléctrico seguro y sostenible que mantiene precios competitivos de la electricidad tanto para consumidores grandes como pequeños.

El modelo de negocios que presenta IndustRE se basa fundamentalmente en la demanda industrial flexible que puede ser utilizada de dos maneras: la primera donde la planta industrial utiliza su flexibilidad para reaccionar a las variaciones de los precios de la electricidad y la segunda alternativa es vender dicha flexibilidad para poder prestar un servicio auxiliar.

No obstante, el sector industrial de alto consumo energético es todavía reacio a modificar su manera de actuación debido a que el mercado y las circunstancias reglamentarias están aún lejos de ser ideales. Es por esto por lo que las grandes industrias desconfían del modelo que propone IndustRE; tienen que competir en un mercado global con los precios de países en los que la legislación es más favorable y por lo tanto la situación es más dispar.

Como ya se comentó en el capítulo 3, los niveles de demanda de las industrias influyen altamente en el consumo general de electricidad. Consecuentemente, si se controla y ajusta adecuadamente su consumo, la calidad y el funcionamiento del sistema eléctrico general se verá enriquecido y mejorado. Concretamente, los sectores industriales con los que trabaja IndustRE, con aproximadamente 302 TWh/año representan un 10% del consumo total de electricidad en Europa [29].

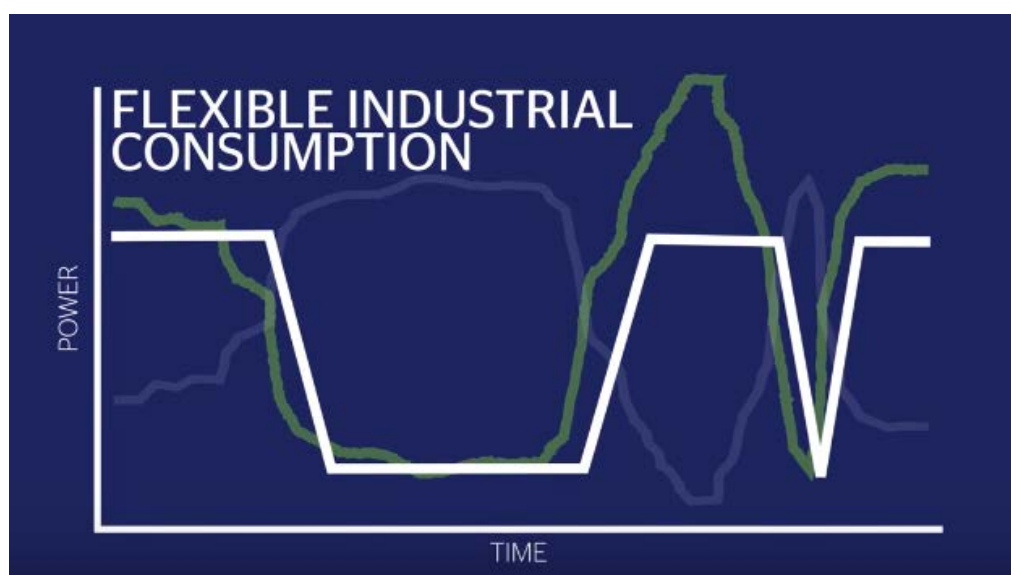


Figura 4.2: Propósito de IndustRE [27]

En la figura 4.2, la línea verde corresponde con los niveles de generación de energías renovables a lo largo del tiempo mientras que la línea blanca representa el consumo industrial que se pretende conseguir con IndustRE. Como se puede apreciar, se trata de ajustar ambos parámetros para conseguir que sean las industrias quienes hagan uso de esa energía limpia que se está produciendo.

Otra de las peculiaridades del proyecto es lo que se conoce como Renewable Energy “on-site”. IndustRE permitirá el uso de las energías renovables directamente desde la planta generadora, es decir, el transporte es directo sin la necesidad de utilizar la red de electricidad pública. En el caso de que la producción de energía sea excesiva, es decir, que el consumo por parte de las

industrias sea menor al previsto, esta electricidad sobrante se venderá a la red pública por lo que se consigue además un ingreso económico.

No obstante, el desarrollo del proyecto y su modelo de negocios se ve altamente limitado por la regulación vigente en la actualidad. Es por ello que a través de la plataforma de IndustRE se están buscando soluciones a estos problemas de normativa que serán presentados más adelante.

En España el uso de las energías renovables es muy elevado en comparación con otras naciones, en 2015 el 36,7% del consumo total de energía fue suplido mediante fuentes limpias [30]. No obstante, los objetivos de sostenibilidad de la Comisión Europea para 2030 pretenden establecer un porcentaje de penetración de renovables hasta del 50%. Proyectos como el de IndustRE serán los encargados de impulsar este ambicioso propósito.



Figura 4.3: Conexiones virtuales del proyecto IndustRE en diferentes países de Europa [27]

En la figura 4.3 aparece un mapa de Europa mostrando las conexiones ficticias entre los diferentes países participantes en el proyecto.

### 4.3 Modelo de negocios de IndustRE

Un modelo de negocios en el ámbito de este proyecto se puede definir como un conjunto de estrategias flexibles elegidas en relación al consumo de electricidad, con el fin de generar beneficios económicos. Estas estrategias se obtienen combinando una variedad de técnicas y herramientas con el objetivo de generar rentabilidad económica de las diferentes fuentes de ingresos y ahorros.

En definitiva, un modelo de negocio puede ser entendido como la oportunidad de obtener beneficios económicos al utilizar ciertas estrategias dentro de un marco realista y regulado.

En el aspecto eléctrico la principal fuente de ingresos es la retribución obtenida al poseer un servicio de flexibilidad disponible en todo momento. Mientras que la fuente de ahorros mencionada con anterioridad se refiere principalmente a la reducción del coste de la energía eléctrica. Las estrategias escogidas por la FID (Flexible Industrial Demand) para lograr aprovecharse de los beneficios de estas fuentes son:

- ◇ Aprovechar su propia flexibilidad de carga y ajustar los horarios de consumo en el tiempo de respuesta de las señales recibidas.
- ◇ Establecer contratos bilaterales con los generadores de energías renovables.
- ◇ Instalar en sus locales sus propios generadores de energías renovables.

Desde el comienzo del proyecto en 2015, las estrategias y modelos de negocio presentados por el consejo directivo de IndustRE se han ido ajustando al contexto legislativo presente. De este modo, tomando como referencia lo mostrado en el documento informativo a fecha de 18 de marzo de 2016 se pueden clasificar los modelos de negocio de IndustRE de la siguiente manera [31]:

- A. Reducción en la factura de la electricidad: al tener una flexibilidad mayor gracias al uso de la técnica de la Demanda Industrial Flexible (*Flexible Industrial Demand, FID*), se conseguirá un precio más bajo para la electricidad. La estrategia consiste en ajustar el consumo industrial en relación al precio de la electricidad; pero no únicamente al precio de mercado o al impuesto por la generadora sino también el valor de la tarifa del uso de red y otras cargas reguladas. En algunas ocasiones los periodos de bajo coste energético resultan ser menos previsibles. Por lo tanto, con este modelo se pretende también integrar un sistema de señales de los suministradores a los consumidores indicando los periodos de altos, medios y bajos precios.

- B. Proveedor de servicios del sistema: este modelo de negocios se centra en la posibilidad de abastecer al operador del sistema con casi cualquier tipo de control de frecuencia. Consecuentemente, esto permite participar en los mecanismos remunerados de reducción de consumo o interrumpibilidad del sistema. Mediante la aplicación de este modelo se consigue un sistema mucho más flexible y equilibrado. Gracias a esta flexibilidad se reduce el pico en la curva de la demanda por lo que los requerimientos de la red son más bajos reduciéndose el coste.
- C. Contrato con generadores eléctricos “off-site”: esto significa que a través del establecimiento de contratos bilaterales con plantas generadoras “off-site” (centros convencionales de generación de energía), el consumidor tendrá unas condiciones más predecibles y estables que al estar expuestos al mercado tradicional. Este modelo podría aplicarse a cualquier tipo de fuente de energía pero en el caso de IndustRE se concentra en las plantas de energías renovables.
- D. Servicio de Balance con generadores eléctricos “off-site”: los beneficiarios de este modelo se aseguran estar siempre cubierto ante desequilibrios del sistema ya que existe un contrato flexible con los generadores de fuentes renovables. De este modo, se podrá operar siempre dentro de unos límites de fiabilidad y seguridad. En cuanto al tema económico, con este modelo se reducen los pagos por el incumplimiento del programa establecido. Es decir, el sistema no sufrirá variaciones excesivas con respecto a lo marcado en un principio por el operador.
- E. Servicio de abastecimiento “on-site”: el quinto y último modelo de negocios presentado consiste en la idea de transportar directamente la electricidad desde la planta de energía renovable hasta el punto de consumo final sin usar la red pública y evidentemente, sin pagar los impuestos y tasas por su utilización.

### Inconvenientes y limitaciones regulatorias

A la hora de analizar un proyecto de estas características será muy importante conocer la situación regulatoria de los diferentes países participantes en IndustRE. De este modo se conocen las limitaciones a las que está expuesto el proyecto. La regulación que más interesa en este caso es la que está relacionada con:

- El mercado mayorista de la electricidad.
- Limitaciones de participación de las industrias en los mecanismos de ajuste.
- Tarifas y precios finales de la electricidad.
- Responsabilidades del sistema eléctrico.
- Posibilidades de participación de las energías renovables.



Todos los modelos de negocios de IndustRE han sido estudiados y analizados en detalle para comprobar si sería factible su puesta en funcionamiento. De este modo, se han examinado los marcos de regulación presentes observando cuales podrían ser las mayores barreras e inconvenientes. Los resultados se pueden resumir de la siguiente forma:

- Modelo A. Es completamente realizable en los 6 países donde se desarrolla el proyecto. FID tiene acceso directo al mercado recibiendo ofertas y escogiendo las más adecuadas. Las tarifas presentan una estructura donde se refleja claramente el precio lo cual ayuda a su puesta en marcha.
- Modelo B. Presenta más dificultades regulatorias que el modelo A. Bélgica, Francia y el Reino Unido permiten a los consumidores participar en los sistemas de ajuste y en general esta es la tendencia creciente en Europa. Sin embargo, España e Italia (dos de los países participantes en IndustRE) no permiten en absoluto esa participación y en el caso de Alemania, ésta se ve restringida a determinados casos. Esto dificulta gravemente la aplicación del modelo. No obstante, los servicios de interrumpibilidad sí están presentes y disponibles en los 6 países involucrados en el proyecto.
- Modelo C. En la actualidad la implantación de los contratos bilaterales entre el consumidor industrial y las plantas generadoras es todavía incierta. En todo el contexto europeo todas las centrales de energías renovables están siendo subvencionadas por el estado; subsidio que perderían en el caso de establecer el contrato directamente con el consumidor. Esto hace que los contratos bilaterales que se firmen deban asegurar los beneficios de las plantas generadoras y no suponga un riesgo para ellas. Sin embargo, la política que está llevando a cabo la Unión Europea en los últimos tiempos está reduciendo estas contribuciones económicas y el modelo C será más eficaz.
- Modelo D. A priori este modelo beneficia altamente a los generadores ya que en la mayoría de países tienen que asumir responsabilidades ante sus desequilibrios. De este modo, los desequilibrios se reducirían y no habría tantas penalizaciones. A pesar de esto, el modelo no es posible debido a la estructura utilizada en la actualidad. Se aplican pocos incentivos económicos y los desequilibrios se ajustan con técnicas diferentes para la generación y el consumo por lo que el modelo D resulta más difícil de utilizar.

- Modelo E. Es el modelo de negocios más favorable al marco regulatorio europeo en la actualidad. Países como España o Bélgica están reduciendo (y en algunas ocasiones eliminando) los incentivos económicos otorgados a los consumidores que directamente generan su energía eléctrica. No obstante, estas subvenciones se siguen manteniendo en el resto de naciones involucradas, siendo excepcionalmente altas en el Reino Unido quienes además están completamente exentos del pago de los costes de red y del sistema ya que se pagan por electricidad neta consumida. Consecuentemente, el modelo E resulta factible ya que no presenta excesivas contrariedades.

#### 4.4 Proyectos de referencia en la UE

IndustRE es aún un proyecto en desarrollo por lo que no se puede hablar de resultados finales. Sin embargo, la inserción de las energías renovables en las industrias ya ha sido el objetivo principal de otros proyectos que sirven de matriz para el desarrollo de IndustRE.

##### eStorage

Uno de los programas que IndustRE ha tomado como referencia es el “eStorage”. Este proyecto, que también cuenta con el apoyo de la Unión Europea, tiene como objetivo mejorar la gestión de la energía eléctrica desarrollando soluciones que integren la generación de energía renovable en la red. Para ello la idea fundamental que eStorage pretende llevar a cabo es la introducción de una velocidad variable en el bombeo de las centrales de almacenamiento de agua. La regulación de potencia en estas plantas solo está disponible en modo de turbina, por lo que al introducir la variación de esta velocidad fija, se produce un aumento de la eficiencia de la central y una mayor flexibilidad.



Figura 4.4: Logo del proyecto de referencia eStorage [32]

Al igual que IndustRE, eStorage reúne a un grupo de actores europeos relacionados con la electricidad que le aportan liderazgo en la generación y transporte (como EDF o Elia), llevan a cabo actividades de investigación y estudios de impacto (Imperial College, GE o DNV GL), o asesoran en temas del sector eléctrico (Asociación Europea de Almacenamiento de Energía [*European Association for Storage of Energy* ,EASE]). Los objetivos fundamentales de eStorage son:

- ❖ Demostrar la viabilidad técnica y económica de introducir una velocidad variable en el bombeo de agua en lugares donde esta se acumula.
- ❖ Mejorar la funcionalidad de los sistemas informáticos para desarrollar soluciones de gestión de red en tiempo real.
- ❖ Proponer cambios en los marcos regulatorios y de mercado para apoyar los modelos de negocio adecuados para el almacenamiento flexible de la energía en la UE.
- ❖ Desarrollar y evaluar soluciones tecnológicas que permiten la implementación de los sistemas de bombeo de agua con velocidad variable.

## CEER

El consejo de reguladores europeos de la energía (*Council of European Energy Regulators*) es una organización cuyo objetivo principal es facilitar la creación de un mercado energético fiable y competitivo que permita el desarrollo y la inserción de fuentes de energías renovables. IndustRE ha tomado como referencia este proyecto ya que pretende cooperar con los reguladores europeos de electricidad para que se lleven a cabo las mejores prácticas posibles.



Figura 4.5: Logo del proyecto de referencia CEER [33]

Las actividades del CEER incluyen el desarrollo de nuevos servicios ofrecidos a consumidores, la valoración de cuestiones básicas relacionadas con la flexibilidad y la respuesta de la demanda y el fomento de la competencia en el mercado de consumo y venta al por menor. Así mismo, el CEER se propone seguir avanzando en sus relaciones internacionales, hecho que beneficia y que sirve de modelo a IndustRE.

Además de los proyectos de referencia, IndustRE realiza actividades alternativas para informar y compartir información útil que le sirva de referencia en futuras operaciones. Los Foros de Regulación de Electricidad como el de Florencia del 5 de junio o reuniones como la que se produjo en Bruselas el 27 de octubre de 2015 tratan de clarificar los dilemas que se presentan y sirven para establecer una comunicación directa entre los promotores del proyecto IndustRE y los beneficiarios directos del mismo. Concretamente a la reunión de Bruselas acudieron 49 empresas del sector de las energías renovables, las industrias intensivas de energía, reguladores (incluyendo la Comisión Europea), los operadores de redes y centros de investigación.

Uno de los directores generales de la Comisión Europea, Hendrik Dam, esclareció la idea de IndustRE de optimizar los activos de generación existentes, de nivelar la variabilidad a través de la interconexión europea. Como consecuencia de la desconfianza recibida por parte de algunas empresas en cuanto a la diferencia de precios que se producirían entre países, Hendrik aseguró que en el próximo paquete legislativo sobre el diseño de mercado eléctrico se incluirán medios que apoyen la flexibilidad industrial [34].

## **4.5 Potencial de participación en IndustRE**

Se está llevando a cabo una ambiciosa campaña para involucrar a los grupos destinatarios de la acción directa de los modelos de negocio e informar a los actores interesados sobre las actividades y resultados del proyecto. Su búsqueda de copartícipes se centra fundamentalmente en tres sectores de negocios [35]:

- Grandes consumidores eléctricos y Plantas de energía renovable

Para que un proyecto se pueda llevar a cabo es necesario estar seguro de que habrá entidades dispuestas a utilizar directamente sus servicios. Mediante esta plataforma se pretende recabar empresas, fábricas y otros consumidores industriales que estén interesados en beneficiarse de las ventajas de IndustRE.

- Comercializadores, reguladores y legisladores

Se trata de encontrar socios que se involucren en la formulación leyes que mejoren el mercado y el marco regulatorio respetando plenamente los principios fundamentales de la política energética europea y nacional.

- Consultorías, proveedores de servicios y otros profesionales

A través de la plataforma online IndustRE trata de animar a diferentes gremios profesionales para que participen en el proyecto y ayuden a aplicar esa metodología de flexibilidad industrial de la manera más eficiente posible.

En la actualidad IndustRE cuenta con un equipo de empresas e instituciones de diversos sectores profesionales. Todas ellas desempeñan una labor notable en el desarrollo del proyecto destacando las mencionadas a continuación:



WIP Renewable Energies: Es una entidad alemana con más de tres décadas de experiencia en sectores ambientales y de energías limpias. El aporte principal de esta compañía a IndustRE es la conexión entre la investigación y la implementación de los sistemas de energía renovables gracias al equipo interdisciplinario de expertos con los que esta empresa cuenta.



Universidad Pontificia Comillas: Esta universidad española apoya al proyecto a través de su centro conocido como *Instituto de Investigación Tecnológica (IIT)*. Se encarga de investigar en temas científicos, económicos y campos regulatorios en el sector energético y más concretamente en el eléctrico. El IIT en este proyecto está proporcionando una amplia labor consultora en el diseño de los mercados de electricidad y regulación de la red.



VITO (Flemish Institute for Technological Research): entidad belga orientada al cliente que se dedica principalmente a la investigación. VITO aporta soluciones tecnológicas e innovadoras así como asesoramiento científico. Gracias a su proyecto conocido como “sistemas inteligentes para ciudades inteligentes” esta empresa ha conseguido una gran experiencia en la flexibilidad de la demanda, en el modelo de mercado energético y en modelos de negocios similares a los que pretende instaurar IndustRE.

## Imperial College London

Imperial College de Londres: es una de las universidades mejor valoradas del mundo. Su reputación de excelencia en la enseñanza y la innovación proporcionan a IndustRE un útil grupo de investigación centrado en el campo de los sistemas eléctricos. Está institución aporta al proyecto conceptos innovadores, tecnologías, software y aplicaciones hardware para conseguir una integración eficaz de los recursos energéticos disponibles.



BECKER BÜTTNER HELD

Becker Büttner Held: esta entidad germana es uno de los bufetes de abogados más destacados en Alemania. Están especializados en el derecho de la energía y en la actualidad cuentan con más de 150 abogados. Desde finales del siglo XX BBH ha hecho contribuciones significativas a la liberalización de los mercados europeos. En el proyecto energético analizado, BBH participa en la toma de decisiones y en el desarrollo de los intercambios de energía.



European  
Copper Institute  
Copper Alliance

Instituto Europeo del Cobre (*European Copper Institute, ECI*): Tiene su sede en Bruselas y está formado por 28 entidades relacionadas con la producción, la distribución y la comercialización del cobre. En lo que a IndustRE se refiere, la aportación del ECI es fundamental. El cobre es una materia prima esencial para la generación de energía renovable. Por cada MW de potencia producida en una instalación eólica se requieren entre 2 y 6 toneladas de cobre y en el caso de una instalación fotovoltaica de 5 a 10 toneladas.



SCM Group: es un grupo industrial puntero en la creación, producción y distribución de soluciones tecnológicamente avanzadas para procesar una amplia gama de materiales (madera, vidrio, piedra, materiales compuestos, etc.) Esta empresa contribuye en el proyecto diseñando sistemas de integración de diferentes tecnologías y plantas de producción avanzadas.



Società Energie Rinnovabili (SER): es una compañía de energía renovable conjunta con Iberdrola y Api (dos de las organizaciones líderes en el sector energético). Ha construido 11 parques eólicos en Italia desde el 2007 y participa activamente en los grupos de mercado Italianos y colabora con la Asociación Europea de la Energía Eólica (EWEA). Por todo ello, la aportación de SER al proyecto IndustRE es muy valiosa.

En resumen, a pesar de encontrarse aún en periodo de desarrollo, IndustRE ha demostrado que la estrategia de actuación que propone es altamente beneficiosa. Es por esto por lo que entidades y organizaciones tan importantes como las que han sido comentadas, no han dudado en colaborar con el proyecto.

### Opinión de los participantes

Muchos participantes e interesados en el proyecto han mostrado su visión acerca del desarrollo del mismo. Se han expuesto diversas opiniones de cada uno de los modelos de negocios que presenta IndustRE.

En general, muchos de los consumidores ya realizan esta optimización de los procesos industriales para beneficiarse de los periodos con precios más bajos por lo que el modelo A ha sido bien recibido. No obstante, para el modelo de prestación de servicios de flexibilidad, las opiniones han sido más negativas. Las barreras regulatorias en algunos de los países participantes hacen que los afectados se encuentren más indispuestos. El punto de vista de los stakeholders varía mucho ya que como se ha comentado previamente la participación de la demanda industrial sí está permitida y justamente retribuida en algunas de las naciones participantes. Para los modelos C y D (contratos bilaterales con las plantas generadoras) las partes interesadas están de acuerdo en que no existen regímenes de ayuda suficiente y piensan que las normas de solución de desequilibrio no incentivan lo suficiente. Por último, la opinión en relación con el modelo que propone instalar fuentes renovables propias de cada industria (modelo E) se ve muy influenciada por la creciente tendencia a cobrar ciertos costes de red. Además, la intermitencia inevitable de este tipo de generación hace que los accionistas no se encuentren totalmente dispuestos a aplicar este modelo de negocios [31].

En definitiva, la postura de los socios y stakeholders de IndustRE está directamente relacionada con la rentabilidad económica que le proporcione cada modelo y esto depende claramente del país en el que se vaya a desarrollar.



## 5 CAPÍTULO 5: SISTEMAS ELÉCTRICOS EN EL REINO UNIDO

El sistema eléctrico del Reino Unido ha sufrido numerosas variaciones estructurales a lo largo de la historia. En este capítulo se explicarán brevemente esos cambios y se describirá la situación de la producción, transporte y demanda industrial de la electricidad en dicho país.

### 5.1 La reestructuración del sector eléctrico

En el Reino Unido existen tres sistemas eléctricos interconectados entre sí:

- Inglaterra y País de Gales
- Escocia
- Irlanda del Norte

La reestructuración de la industria eléctrica del Reino Unido se inició en 1990 simultáneamente en las tres regiones. No obstante esta reestructuración se desarrolló de una forma diferente en cada región. La participación en el mercado eléctrico Británico de Inglaterra y País de Gales en era muy mayoritaria en ese periodo, alcanzando el 88% del total.

El Reino Unido fue una de las primeras naciones en realizar una remodelación ambiciosa de su sector eléctrico, sirviendo como ejemplo a seguir para muchos otros países. El modelo de sector económico del Reino Unido era un monopolio público verticalmente integrado y esto provocó que la reestructuración de las relaciones comerciales se hiciera en conjunto con la privatización. El gobierno pretendía con esta reforma sustituir el monopolio por un sistema de mercado más eficiente y con precios competitivos. El transporte y la distribución seguirían siendo tratados como monopolios naturales regulados. Sin embargo, para las actividades de generación y comercialización se buscaba que hubiese competencia.

El sector eléctrico en el Reino Unido estaba nacionalizado entre 1947 y 1990. En Inglaterra y País de Gales existía el Consejo Central de Generación de Electricidad (*Central Electricity Generating Board, CEGB*). Esta compañía estatal se encargaba de toda la generación y transporte de energía eléctrica. La CEGB vendía la electricidad a las 12 compañías regionales de distribución (*Regional Electricity Companies, REC*), responsables tanto de la distribución como de la comercialización de la energía.

Por otro lado, en Escocia existían dos compañías verticalmente integradas: el Consejo de Electricidad del Sur de Escocia (*South of Scotland Electricity Board, SSEB*) y el Consejo Hidroeléctrico del Norte de Escocia (*North of Scotland Hydro Electric Board, NSHEB*) – que generaban, transportaban y suministraban la electricidad a los consumidores en sus respectivas áreas.

Mientras tanto, en Irlanda del Norte existía solamente una compañía, la Eléctrica de Irlanda del Norte (*Northern Ireland Electricity, NIE*) la cual se encargaba de todos los procesos eléctricos desde la generación hasta la comercialización [36].

En 1983 hubo un primer impulso a la reforma del sector eléctrico mediante la Ley de la Electricidad de 1983 (*Electricity Act of 1983*). Ésta pretendía estimular el crecimiento de los productores independientes de energía dándoles un libre acceso a la red nacional de transporte. Sin embargo y debido principalmente al predominio de la CEBG, la ley no consiguió introducir suficiente competencia. 6 años después de esta primera Ley se produjo un nuevo postulado que establecía definitivamente las bases de la reforma.

Fue entonces cuando mediante la Ley de la electricidad de 1989 (*Electricity Act of 1989*) la CEBG se dividió en varias compañías. Estas compañías eran las generadoras National Power y PowerGen que fueron privatizadas, la generadora pública responsable de la generación nuclear (Nuclear Electric) y, finalmente, la Compañía de Red Nacional (*National Grid Company, NGC*), que poseía y operaba la red de transporte, y que debía proporcionar libre acceso a la ésta. Por otro lado, las 12 Compañías (*REC*) encargadas de la distribución y comercialización, también fueron privatizadas.

Las reformas en Escocia e Irlanda del Norte fueron mucho más modestas. En Escocia las compañías fueron privatizadas manteniendo su estructura verticalmente integrada aunque, en términos generales, estaban reguladas en las mismas condiciones que las compañías de Inglaterra y País de Gales pudiendo vender su energía en el mercado mayorista inglés. La Eléctrica de Irlanda del Norte fue privatizada en 1992 adoptando el modelo de “único comprador” por ser el más adecuado dada su pequeña dimensión y teniendo en cuenta que sus redes están aisladas de la red británica.

En suma, la reestructuración del sector eléctrico de Reino Unido ha sido realizada a la vez que la privatización de sus compañías. Aunque las REC fueron privatizadas al principio del proceso, el gobierno mantuvo una participación en cada REC hasta marzo de 1995, que le permitía controlar cualquier adquisición o fusión e incluso bloquearlas.

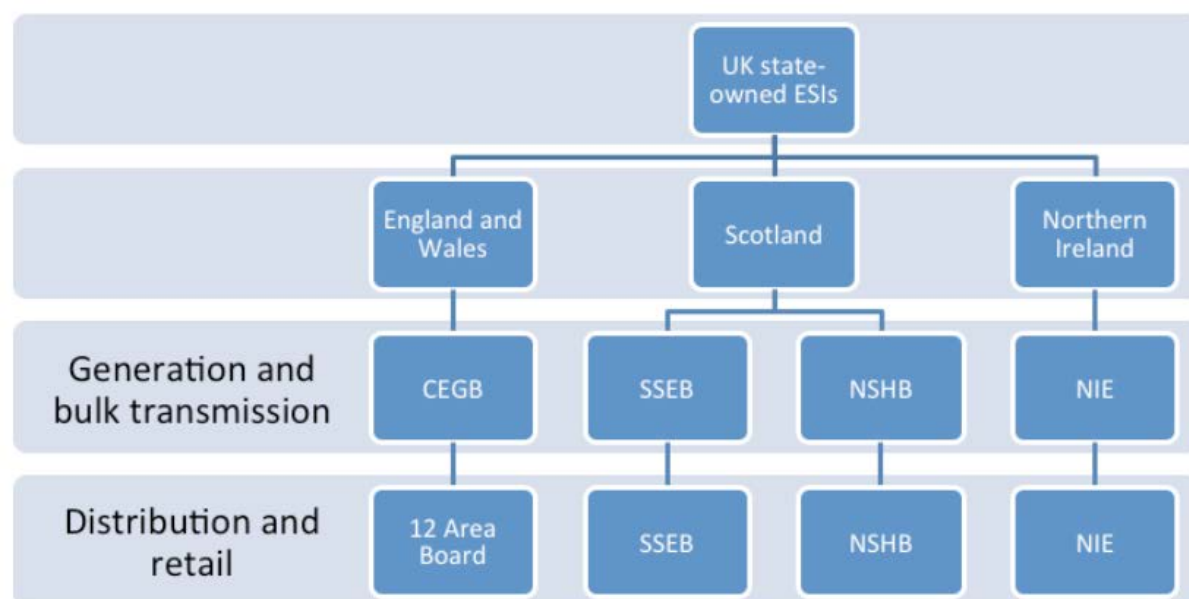


Figura 5.1: Estructura del sector eléctrico británico nacionalizado [37]

Como mecanismo de equilibrio entre la oferta y la demanda de energía eléctrica, en 1990, el gobierno instituyó, en Inglaterra y País de Gales, un mecanismo de mercado mayorista de energía (*Power Pool*) para actuar como una cámara de compensación entre los generadores y los consumidores mayoristas. En 2001 el gobierno sustituye el Pool por el *New Electricity Trading Arrangements (NETA)* en un intento por reducir los altos precios de la electricidad en Inglaterra y Gales además de combatir los problemas del ejercicio de poder de mercado por parte de algunos generadores. En el 2005 el NETA fue ampliado a Escocia denominándose *British Electricity Trading and Transmission Arrangements (BETTA)*. En paralelo a la introducción de la competencia en la generación, el mercado eléctrico minorista fue paulatinamente abriéndose a la misma. A partir de abril de 1990, a los grandes consumidores, con demanda mayor que 1 MW, les fue permitido elegir suministrador de energía eléctrica, en abril de 1994 este umbral fue reducido alcanzando a los consumidores de más de 100 kW, y, finalmente, entre septiembre de 1998 y mayo de 1999 esta posibilidad se abrió a todos los consumidores [38].

## 5.2 Producción de electricidad

Al igual que el sistema eléctrico español, el sector eléctrico británico se compone de las 5 actividades básicas: Generación, transporte, distribución, comercialización y consumo.

El concepto general es muy parecido a lo que ha sido explicado en el capítulo 2. Sin embargo, el sistema británico posee algunas particularidades que merece la pena destacar.

Comenzando por la producción de electricidad, ésta se realiza en centrales de muy diversos tipos. A lo largo de la historia la procedencia de la electricidad producida en el Reino Unido ha experimentado un cambio constante, adaptándose a la tecnología y a los avances en la materia. A finales del siglo XX el 26% de la energía total producida en Gran Bretaña era de origen nuclear mientras que en la actualidad el cierre de centrales (7 en funcionamiento a día de hoy) y el desarrollo de fuentes alternativas ha hecho que se reduzca a poco más del 15% del total.

No obstante, el Reino Unido se ha caracterizado por la constante implicación en la explotación de energías renovables. Tanto es así que el pasado año 2015, este país alcanzó un record de producción de energías limpias, el 22,3% del total procedían de este tipo de fuentes. En su gran mayoría, estas cifras se deben al buen resultado de centrales eólicas como la instalada en el Mar del Norte.



Figura 5.2: Parque eólico Hywind en el mar del Norte [39]

Debido a las condiciones climáticas presentes en el Reino Unido la producción de energía con placas fotovoltaicas no es muy elevada; pero han sido capaces de contrarrestarla con una alta eficiencia de la hidroeléctrica, la eólica como ya ha sido comentado y con un tipo de generación relativamente poco usual como la mareomotriz. Proyectos en auge como el de Tidal Lagoon Power en las costas de Swansea podrían impulsar la producción de energía mareomotriz hasta un 8% de la total. De momento, las cifras registradas en los últimos 4 años divididas por trimestres pueden verse claramente en el siguiente gráfico, que muestra la tendencia ascendente del uso de energías renovables en Gran Bretaña.

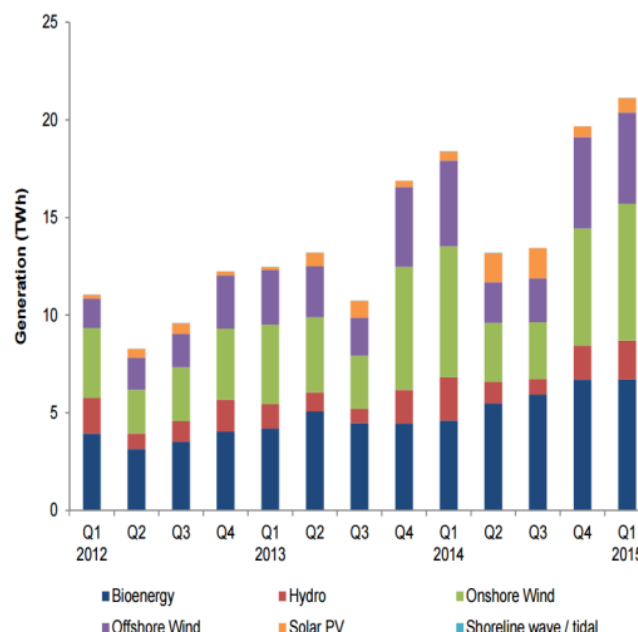


Figura 5.3: Evolución de la Producción de las Energías Renovables en el Reino Unido [40]

Como se puede observar en la figura 4.8, la suma de energía eólica producida en parques instalados en suelo fijo y parques instalados mar a dentro (barras verde y violeta respectivamente) la convierten en la energía renovable más utilizada en estos últimos 4 años. La sigue la Bioenergía (barra azul) que presenta unos valores muy parecidos año tras año, en torno a 4,5 GWh. Un poco por debajo se encuentra la producción hidroeléctrica (barra roja) que generó 2 GWh. Por último destacar que la solar fotovoltaica (barra amarilla) también presenta un crecimiento exponencial trimestre tras trimestre. La capacidad eléctrica renovable llegó a alcanzar los 26,4 GW en el primer trimestre de 2015, cifras de record en la historia del Reino Unido.

Como ya se explicó en la primera parte de este capítulo, entre los años 1990 y 1994 se produjo la privatización del sector en el Reino Unido con el objetivo de crear competencias y que el sistema eléctrico no se estancase. A partir de ese momento el sistema se estructuró de una forma diferente. La empresa estatal que hasta ese momento se encargaba de la generación y el transporte, "The Central Electricity Generating Board (CEGB)", desapareció. El transporte fue segregado y la generación se dividió en las siguientes compañías: National Power (46% de la generación total), PowerGen (29% de la generación total), Nuclear Electric (13% de la generación total) y otras compañías como Scottish Power o Hydro-Electric (12% de la generación total).

A finales de 2015, la potencia instalada de generación era de 84.987 MW con la siguiente estructura de producción por tecnologías:

**Tabla 5.1: Potencia Instalada en el Reino Unido [41]**

		Potencia instalada (MW)
Plantas térmica con turbina de vapor		24.838
Plantas térmicas de ciclo combinado		33.784
Nuclear		9.937
Plantas térmicas con turbina de gas		1.787
Hidroeléctrica	Convencional	1.567
	Bombeo	2.744
Eólica		5.585
Renovables *		4.747
TOTAL		84.987

\*Hidroeléctrica y eólica no incluidas

La producción total de electricidad en 2015 fue de 336.043 GWh donde el 68% fue de energía secundaria (carbón, gas, renovables,...)

**Tabla 5.2: Producción anual de electricidad en el Reino Unido [41]**

Fuente de energía	Electricidad producida (GWh)
Nuclear	63.748
Agua	5.885
Viento	36.068
Carbón	100.707
Aceite	1.881
Gas	100.928
Otras renovables	22.702
Otras	4.125
TOTAL	336.043

Los datos de las tablas 5.1 y 5.2 han sido obtenidos del informe Digest of UK energy statistics (DUKES) publicados por el departamento de Energía y Cambio Climático (Department of Energy and Climate Change, DECC). Se puede observar en las tablas anteriores cómo, a pesar de que se está apostando más por las energías renovables, casi un 70% de la potencia instalada se encuentra en plantas térmicas y más del 60% de la producción final usa carbón o gas como materia prima.

### 5.3 Distribución y transporte en el Reino Unido

A finales del siglo XX, el CEBG le cedió las actividades de transporte al National Grid Company quien se dividió en 14 empresas regionales distribuidoras (12 en Inglaterra y Gales y 2 en Escocia). Dependiendo de la región el transporte es controlado por una empresa u otra. La fusión entre algunas de ellas y la desaparición de otras han provocado que en la actualidad sólo existan tres que se reparten todo el transporte de la energía dependiendo de la posición geográfica. Se tiene: National Grid Electricity Transmission para Inglaterra y Gales, Scottish Power Transmission Limited para el sur de Escocia, Scottish Hydro Electric para el norte de Escocia y sus islas.



Figura 5.4: Localización de las empresas destinadas al transporte de electricidad en el Reino Unido [37]

National Grid plc es el operador del sistema en el Reino Unido, es decir, sus funciones son las equivalentes a las de REE en España.

A diferencia de las líneas eléctricas españolas, en el Reino Unido los valores de Alta Tensión a los que se transporta la energía son de 400 kV y 275 kV. Existen aproximadamente unos 26.550 km de líneas eléctricas en los que casi la mitad son a 400 kV y tan sólo un 19% a 132 kV o menos.

## **5.4 Demanda industrial en el sistema británico.**

National Grid como el operador de la Red es responsable de la programación de la generación diaria para cubrir la demanda real. National Grid produce un pronóstico de la demanda (más reservas) tomando en cuenta el clima y los patrones de uso para cada media hora del día siguiente y luego programa la cobertura de acuerdo con las ofertas de precios de los generadores. Un sistema computarizado conocido como Generator Ordering And Loading (GOAL) realiza el estudio tomando en cuenta todas las limitaciones de las plantas y las ofertas de precios de los generadores. Esta labor ha sido traspasada por National Grid a una empresa de su propiedad que opera de manera independiente, la Energy Settlements & Information Services Ltd. (ESIS) [37].

### **5.4.1 Participación de la demanda industrial y proyecto IndustRE en el Reino Unido**

Como ocurre en España, la cantidad de energía demandada por las industrias corresponde con un porcentaje elevado del total de la electricidad consumida. De nuevo los niveles de electricidad demandados en usos residenciales, a pesar de contar con un número de clientes incomparable al industrial, no representan el mayor porcentaje de demanda total. Son los clientes del sector industrial quienes influyen más en los niveles de consumo y por lo tanto quienes pueden intervenir de forma más activa en el control de la demanda.



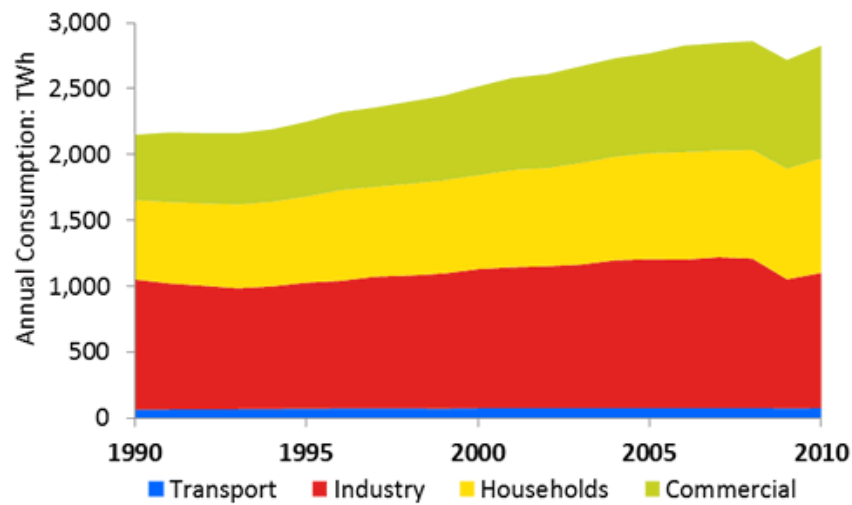


Figura 5.5: Consumo eléctrico dividido por sector en el Reino Unido [42]

En la figura 5.5 se puede observar como el contenido rojo perteneciente al sector industrial presenta un consumo anual superior al resto. Le siguen el residencial (color amarillo) y el comercial (color verde).

Al igual que en España y el resto de Europa, son muchas las técnicas que se están llevando a cabo para conseguir una reducción del consumo de electricidad y una mejora aún mayor del sistema eléctrico. Como ya se comentó en el anterior capítulo, el proyecto IndustRE se está desarrollando también en el Reino Unido. A fecha de hoy dicho proyecto eléctrico goza de una gran aceptación en este país, debido principalmente a las diferencias regulatorias que el Reino Unido presenta con respecto a otras naciones participantes y que benefician al modelo de negocios propuesto por IndustRE.

Una de las ventajas más significativas que presenta el Reino Unido con respecto a los otros países participantes en IndustRE es la retribución otorgada por el gobierno a aquellas industrias que utilice el autoconsumo (modelo E). Es decir, si la propia industria posee un sistema de generación de energía, no sólo recibe una prima económica por ello sino que también puede recibir hasta un 50% del exceso de electricidad suministrado a la red en bonificaciones [31]. Además, en el sistema británico las industrias que se benefician de este modelo de negocio con plantas “on-site” también estarán exentos del pago de cualquier impuesto de red. Todo ello hace que el Reino Unido sea uno de los países más atractivos para el desarrollo del modelo de negocio propuesto por IndustRE.

Otra de las regulaciones activas en el Reino Unido y que favorece la aplicación del proyecto es la posibilidad de participación de la demanda en los mecanismos de ajuste del sistema. Desde hace unos años (concretamente desde el 2011), los consumidores han sido partícipes de estas técnicas de ajuste a través de estrategias como el STOR (Short Term Operating Reserve), la

DSBR (Demand Side Balancing Reserve), FRFS (Fast Reserve Firm Service) y algunas otras que serán comentadas en profundidad en el próximo apartado de este capítulo. De este modo y a diferencia con países como España o Italia, el modelo B de negocio que propone IndustRE podrá llevarse a cabo de una manera relativamente sencilla.

En cuanto al resto de medidas propuestas por IndustRE (contratos bilaterales, reducción de consumo,...) la situación en la que se encuentra el Reino Unido es similar a la del resto de países participantes y no merece una mención adicional.

En la actualidad, son dos las entidades importantes que representan al Reino Unido en el proyecto energético<sup>1</sup>. La primera es la prestigiosa universidad Imperial de Londres y la segunda organización con origen británico es el Instituto del cobre. Ambas fueron analizadas con anterioridad, mostrando la importante intervención de las mismas en el desarrollo de IndustRE.

---

<sup>1</sup> A pesar de haber contactado personalmente con la dirección del proyecto IndustRE, la información está restringida. Por lo tanto no me facilitaron los nombres de entidades británicas menores que se encuentren participando en el desarrollo del proyecto.

### 5.4.2 Servicios de ajuste en el Reino Unido

Al igual que ocurría en el sistema español, el operador del sistema que en este caso es National Grid plc realiza una serie de ajustes para garantizar el equilibrio entre producción y consumo. La gama de servicios prestados por grandes consumidores eléctricos, mayoritariamente destinados a la interrupción de su potencia, pueden ser clasificados de la siguiente manera:

#### → Frequency Response

Los valores de la frecuencia a la que se encuentra operando el sistema dependerá de la demanda y de la generación en cada instante del tiempo (si la demanda es mayor que la generación, la frecuencia disminuye y si la generación es mayor que la demanda, la frecuencia aumenta). Debido a la necesidad de mantener siempre unos valores muy próximos a la frecuencia nominal de 50Hz (+1% de desviación) es necesario aplicar este sistema que podrá ser:

- ⇒ Frequency response Dynamic: aplicado de manera continua para gestionar la frecuencia en tiempo real.
- ⇒ Frequency response Non Dynamic: sólo interviene cuando se supera un límite de frecuencia previamente establecido.

#### → Reserve services

En el caso de un imprevisto en la demanda o un aumento inesperado de producción, el Operador de Sistema accede a fuentes de energía adicionales para que el sistema eléctrico se mantenga en los límites de eficiencia y seguridad. Dependiendo del tiempo en el que la fuente de energía esté preparada para actuar se distinguen varios modelos de servicios de reserva como muestra la siguiente figura:

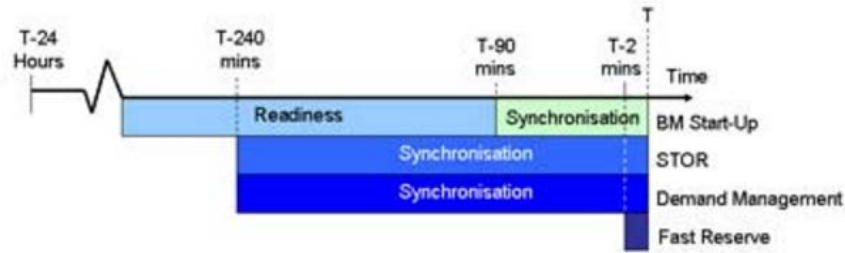


Figura 5.6: Clasificación de los servicios de reserva dependiendo del tiempo de preparación [37]

En la figura 5.6 se pueden distinguir diferentes servicios de reserva ordenados según la escala temporal de actuación. Como se aprecia, la Fast Reserve proporciona una entrega rápida y fiable de electricidad en el caso de que el Operador del Sistema se lo indique. Las industrias que participan en este tipo de servicio son del orden de 10 MW de carga y deben ser capaces de responder en un breve periodo de tiempo, en 2 minutos aproximadamente. En el sistema eléctrico español es equivalente a la regulación primaria. También se muestra en la figura 5.6 el STOR (Short Term Operating Reserve). Se hace uso de este servicio cuando los tiempos de actuación no han de ser tan rápidos, se permiten hasta 4 horas de margen. En el caso de BM Start Up, National Grid da una orden de preparación a empresas generadoras con aproximadamente 24 horas de antelación.

### → Transmission Constraint Management

Su objetivo es el de aliviar las restricciones de flujo de carga que se hayan producido por alguna congestión en la red. La solución consiste en modificar la programación prevista y adecuarla a la situación en la que se encuentre el sistema en ese momento. Equivale al mecanismo de gestión de restricciones del sistema español.

El Reino Unido presenta también unos mecanismos de emergencia para equilibrar el sistema eléctrico en el caso de la pérdida inmediata de generación o de un pico de consumo extremadamente alto. Son los siguientes [37]:

**Demand Side Balancing Reserve (DSBR):** este modelo consiste en la retribución económica de las industrias que estén dispuestas a interrumpir su consumo durante un periodo de tiempo determinado. Presenta muchas similitudes con el servicio de Interrumpibilidad español y su servicio puede llegar a valores de hasta 16 pounds por MW de capacidad reducida si el tiempo de actuación es corto y la duración elevada.

**Supplemental Balancing Reserve (SBR):** va dirigido a las centrales de generación que de otra forma estarían cerradas, inactivas o fuera del mercado. Se utilizan sus servicios como último recurso del operador del sistema para solucionar un grave desequilibrio. Los horarios de actuación son de lunes a viernes de invierno, entre las 6 y las 22 horas. En un periodo diferente al establecido, el SBR no participará como mecanismo de emergencia.

**Black Start:** es un modelo de ajuste especial utilizado cuando se ha producido una pérdida de suministros total y las industrias han tenido que parar sus actividades. Para que la puesta en marcha de nuevo se realice de la manera más segura y eficiente posible, se hace uso del sistema Black Start que consiste en la creación de un sistema interconectado donde las industrias se irán uniendo gradualmente para causar el menor desequilibrio posible.

## 6 CAPÍTULO 6: CRONOGRAMA

En esta sección se expondrá un calendario de actividades con las fechas aproximadas en las cuales se han realizado cada una de estas tareas. La creación de un cronograma al inicio del proyecto resulta fundamental para conseguir una estructuración del TFG cuidadosa y ordenada. A pesar de que resulta complicado cumplir con exactitud los tiempos marcados inicialmente, se ha respetado en gran medida esta planificación consiguiendo:

Tabla 6.1: Desglose final de actividades del TFG ordenador por orden cronológico de inicio

TAREA	INICIO	FINALIZACIÓN	DURACIÓN [días*]
Búsqueda inicial información de sistemas eléctricos	26/noviembre/2015	01/enero/2016	35
Nociones básicas de realización de TFG	26/noviembre/2015	01/enero/2016	35
Investigación en profundidad de sistemas eléctricos	05/enero/2016	12/febrero/2016	38
Redacción capítulo 2	20/enero/2016	12/febrero/2016	23
Investigación de electricidad en el Reino Unido	15/febrero/2016	20/marzo/2016	35
Redacción primera parte capítulo 5	25/febrero/2016	04/marzo/2016	9
Investigación demanda industrial y mecanismos de ajuste (España y Reino Unido)	05/marzo/2016	06/abril/2016	32
Redacción segunda parte capítulo 5	10/marzo/2016	15/marzo/2016	5
Redacción capítulo 3	15/marzo/2016	6/abril/2016	22
Investigación IndustRE	8/abril/2016	30/abril/2016	22

Redacción capítulo 4	15/abril/2016	30/abril/2016	15
Redacción capítulo 1	01/mayo/2016	14/mayo/2016	14
Redacción capítulo 8	01/mayo/2016	14/mayo/2016	14
Redacción capítulo 7	01/mayo/2016	14/mayo/2016	14
Revisión general de contenidos y ajustes de formato	14/mayo/2016	01/junio/2016	18

\*Para una mejor comprensión de los datos expuestos se aclara que se ha considerado un empleo aproximado de  $\frac{385 \text{ horas}}{190 \text{ días}} \sim 2 \text{ horas/día}$

En la tabla 6.1 se muestra la planificación temporal del TFG, mostrando las actividades realizadas con sus respectivas fechas de inicio y finalización.

En el apéndice número 2 se muestra el diagrama de Gantt elaborado para el presente trabajo de fin de grado. El objetivo de este gráfico es el mismo que la tabla 6.1 con la diferencia de que en el diagrama de Gantt se muestra de una manera más representativa y vistosa el tiempo dedicado a cada tarea.

## 7 CAPÍTULO 7: PRESUPUESTO

Para conseguir un trabajo fin de grado completo y detallado es muy útil analizar su coste, tanto humano como del material que ha supuesto la realización del proyecto. El primer paso para conocer el presupuesto consiste en analizar el número de horas dedicadas al TFG, ya sean recabando información, redactando o en reuniones con el tutor.

Tabla 7.1: Despiece de horas empleadas en el TFG

TAREA	HORAS ESTIMADAS EMPLEADAS
Búsqueda de información	125
Redacción inicial	180
Revisión y formato	45
Reuniones con el tutor	15
Preparación presentación	10
Powerpoint	10
Total	385

En la tabla 7.1 se expone el tiempo estimado en horas dedicadas a las diferentes actividades del trabajo fin de grado.

La retribución media de un técnico en régimen autónomo y sin experiencia se estima alrededor de 15 €/hora [43]. Por lo tanto:

$$385 \frac{\text{horas}}{\text{proyecto}} * 15 \frac{\text{€}}{\text{hora}} = 5.775 \frac{\text{€}}{\text{proyecto}}$$

En cuanto a los recursos materiales, al no haber realizado ninguna maqueta, ni prototipo, el coste se reduce a los dispositivos informáticos utilizados.



Tabla 7.2: Recursos materiales estimados

PRODUCTO	PRECIO TOTAL ESTIMADO [€]
Ordenador portátil Toshiba Satellite L50-B	800
Licencias software	30
Ratón inalámbrico	15
Memoria Pendrive	5
Total	850

En la tabla 7.2 se muestra el coste estimado de los recursos materiales utilizados en el TFG. Dado que el ordenador utilizado no ha sido adquirido únicamente para la realización del proyecto, se calculará a continuación el coste de amortización aproximado. Según las características técnicas del ordenador, su vida útil se estima en 4 años (48 meses) [44]

$$\frac{800 \text{ €}}{48 \text{ meses}} * 6 \frac{\text{meses}}{\text{proyecto}} = 100 \text{ €/proyecto}$$

Siendo por lo tanto 150 € el coste total acumulado del material (ordenador + material adicional).

Tabla 7.3: Presupuesto final TFG

TIPO DE RECURSO	COSTE FINAL [€]
Recursos humanos	5.775
Bienes materiales	150
Gastos adicionales	0
Total	5.925 + IVA

La tabla 7.3 muestra el presupuesto final del TFG. Como se puede observar, no se ha considerado ningún desembolso extra. Al residir en Leganés, lugar donde se han realizado el proyecto en su totalidad (tanto la redacción del trabajo como reuniones con el tutor), no se han producido gastos adicionales de transporte, restauración, etc.

## 8 CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES

### 8.1 Conclusiones técnicas

Se puede concluir afirmando que los objetivos marcados al inicio del presente TFG han sido superados con éxito excepto el análisis completo del proyecto IndustRE. Este objetivo ha sido sólo superado parcialmente ya que al estar el aún en desarrollo, únicamente se ha podido analizar la documentación hasta la fecha de entrega del TFG. No obstante, se ha conseguido lo siguiente:

- Se ha expuesto el proyecto europeo “IndustRE”, examinando los objetivos, los modelos de negocios que presentan, el marco regulativo en el que se encuentra y en definitiva todos los aspectos que permiten conocer en profundidad dicho proyecto. De los 5 modelos de negocios que presenta IndustRE, los más viables y los que más aceptación han tenido entre los participantes han sido los modelos A y E (Reducción de la factura y abastecimiento “on site” respectivamente). Sin embargo, la opinión de los participantes variará dependiendo del país en el que se desarrollen dichos modelos ya que el marco regulatorio es muy influyente y la rentabilidad económica de cada estrategia varía de un país a otro.
- Se han analizado los principales factores que intervienen en la demanda eléctrica, prestando especial interés a los sectores industriales más influyentes en ella. Algunas industrias como las cementeras o las siderurgias presentan unos patrones de consumo eléctrico que favorecen su participación en los servicios de ajuste del sistema.
- Se han identificado los servicios de ajuste activos en el sistema eléctrico español analizando cada uno de ellos. Se concluye que la demanda industrial no participa en los servicios de ajuste del sistema de nuestro país en la actualidad pero que podría hacerlo especialmente en la gestión de servicios complementarios. Esto ya ocurre en otros países europeos por lo que el modelo español se encuentra encaminado a permitir esa intervención.
- Se han estudiado los servicios de ajuste y la participación de la demanda industrial en el Reino Unido concluyendo que el sistema británico permite la participación de la demanda industrial en algunos de sus sistemas de ajuste como el “*Short Term Operating Reserve*” o el “*Fast Reserve Firm Service*” (explicados en anteriores capítulos) entre otros. El buen funcionamiento hasta el momento de estas medidas pueden utilizarse de referencia en otros sistemas eléctricos como el español en un futuro cercano.

## 8.2 Conclusiones personales

Desde un punto individual, el trabajo fin de grado realizado me ha aportado una formación complementaria en muchos aspectos académicos y personales.

En primer lugar destacar el conocimiento adquirido. Han sido muchos los documentos analizados (noticias, informes, actas de conferencias, boletines informativos. Todos ellos me han aportado un entendimiento muy valioso sobre la materia. He aprendido acerca de los sistemas eléctricos, mecanismos de ajuste, regulaciones, demanda industrial, etc. He tenido la oportunidad de profundizar y de conocer de forma detallada muchos de los conceptos presentados de manera breve en anteriores asignaturas de la carrera como “Introducción a Ingeniería eléctrica” en segundo curso o “Tecnología eléctrica” de tercero.

En segundo lugar, he progresado sustancialmente en las habilidades de búsqueda y uso de la información. He tenido la necesidad de filtrar los contenidos en la memoria con el objetivo de conseguir un proyecto claro y conciso.

En tercer lugar, considero que este proyecto me ha hecho mejorar mis habilidades de redacción. He tenido que esforzarme en la realización de la memoria y esto me ha ayudado a desarrollar mi destreza en este aspecto.

En cuarto lugar, la necesidad de planificación y organización de actividades ha sido un punto a tener en cuenta al realizar este trabajo. Nunca hasta el momento había elaborado un proyecto de estas dimensiones por lo que el orden y la buena estructuración del mismo han sido fundamentales.

Considero que todo lo aprendido en la realización de este proyecto me aportará un provechoso valor profesional en el futuro.

## 9 CAPÍTULO 9: APÉNDICES

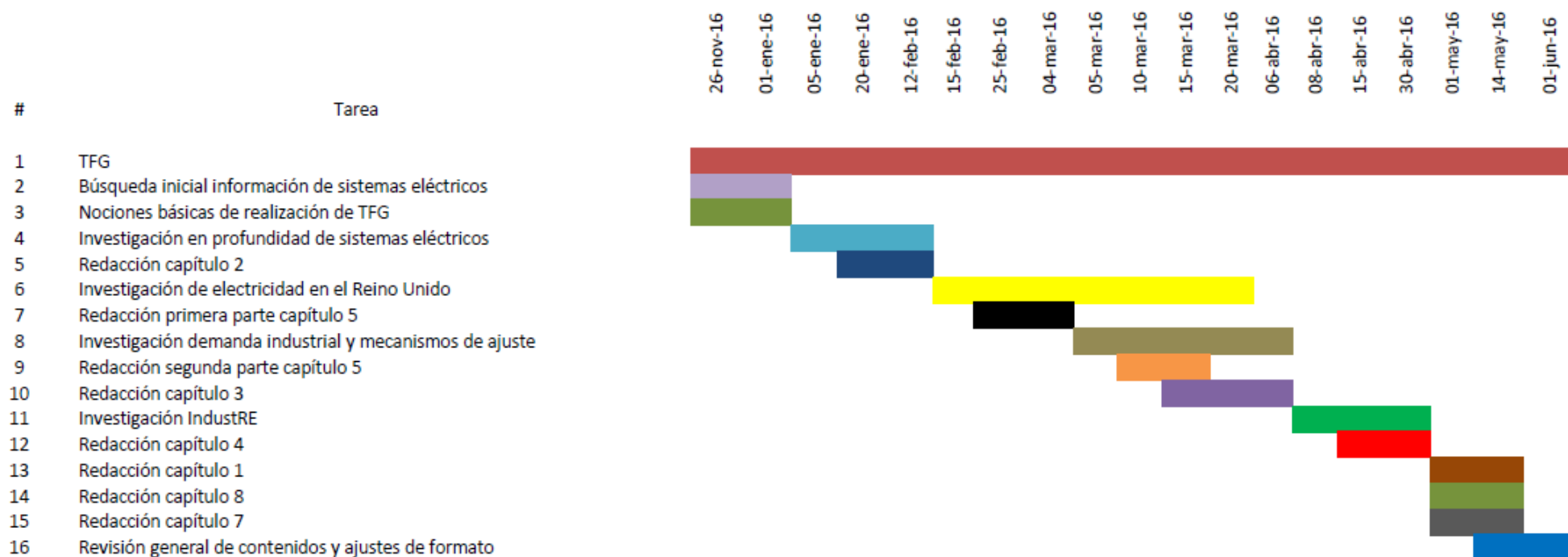
### 9.1 Apéndice 1: Glosario de Términos

- Acoplamiento de mercados: Mecanismo de gestión de la capacidad de intercambio. Su objetivo es el de obtener de forma simultánea los precios y posiciones netas de los mercados diarios acoplados. De esta forma y respetando la capacidad de intercambio disponible, se determina de forma implícita los flujos de energía resultantes.
- Cierre de energía en el mercado: Es el saldo resultante de la diferencia entre las pérdidas medidas de transporte y distribución y las pérdidas adquiridas por los consumidores peninsulares que contratan la energía con un comercializador o directamente en el mercado
- Clinker: Producto granulado obtenido por la calcinación de caliza y arcilla, y utilizado en la fabricación de cementos.
- Consumos de generación: Energía utilizada por los elementos auxiliares de las centrales, necesarias para el funcionamiento de las instalaciones de producción.
- Energías renovables: Son aquellas obtenidas de los recursos naturales y desechos, tanto industriales como urbanos. Incluyen biogás, biomasa, eólica, hidroeléctrica, hidráulica, solar y residuos.
- Gestión de desvíos: El mecanismo de gestión de desvíos es un servicio de carácter potestativo gestionado y retribuido por mecanismos de mercado. Tiene por objeto resolver los desvíos entre generación y consumo que pudieran aparecer con posterioridad al cierre de cada sesión del mercado intradiario y hasta el inicio del horizonte de efectividad de la siguiente sesión.

- Mercado de electricidad: Es el conjunto de transacciones derivadas de la participación de los agentes del mercado en las sesiones de los mercados diario e intradiario y de la aplicación de los Procedimientos de Operación Técnica del Sistema.
- Mercados de operación: El objetivo es el de adaptar los programas de producción obtenidos en los mercados diarios e intradiarios a las necesidades técnicas de calidad y seguridad requeridas por el suministro de energía eléctrica. Están compuestos por la solución de restricciones técnicas, la asignación de los servicios complementarios y la gestión de desvíos. Estos mercados son gestionados por el operador del sistema, en el caso de España por REE.
- Pagos por capacidad: Pago regulado para financiar el servicio de capacidad de potencia a medio y largo plazo ofrecido por las instalaciones de generación al sistema eléctrico.
- Potencia instantánea: La potencia instantánea es la potencia absorbida por la demanda en cualquier instante del tiempo.
- Programa Diario Base de Funcionamiento (PDBF): Es el programa de energía diario, con desglose por periodos de programación de las diferentes unidades de programación correspondientes a ventas y adquisiciones de energía en el sistema eléctrico peninsular español. Este programa es establecido por el Operador del Sistema a partir del programa resultante de la casación del mercado diario y la información de ejecución de contratos bilaterales con entrega física.
- Reserva de potencia adicional a subir: Es el valor de reserva de potencia a subir que pueda ser necesaria con respecto a la disponible en el Programa Diario Viable Provisional (PDVP) para garantizar la seguridad en el sistema eléctrico peninsular español. La contratación y gestión de la reserva de potencia adicional a subir es realizada por el operador del sistema mediante un mecanismo de mercado, cuando las condiciones del sistema así lo requieren.
- Restricciones en tiempo real: Proceso realizado por el operador del sistema que consiste en modificar los niveles de las unidades de programación para la resolución de las restricciones técnicas identificadas durante la operación en tiempo real.

- Servicios de ajuste del sistema. Son mecanismos cuyo objetivo es el de asegurar el suministro de energía eléctrica en las condiciones de seguridad, fiabilidad y calidad exigidas. Comprenden la resolución de restricciones técnicas del sistema, los servicios complementarios y la gestión de desvíos y pueden ser de carácter obligatorio o potestativo.
- Tarifa de Último recurso (TUR): Precios máximos y mínimos que podrán cobrar los comercializadores a los que se asigna la función de suministro de último recurso que es un nuevo modelo de gestión de los contratos eléctricos. En éste, la actividad de suministro a tarifa deja de formar parte de la actividad de distribución, y el suministro pasa a ser ejercido en su totalidad por las empresas comercializadoras en libre competencia siendo los consumidores de electricidad quienes eligen libremente a su empresa comercializadora. Desde el 1 de Julio de 2009 son consumidores con derecho al suministro de último recurso aquellos conectados en baja tensión y con potencia contratada menor o igual a 10 kW.

## 9.2 Apéndice 2: Diagrama de Gantt



## **BIBLIOGRAFÍA**

- [1] IndustRE, «Project Brochure,» 2016.
- [2] Commons, «Divulgación científica y tecnológica blogspot,» Abril 2012.
- [3] E. Castronovo, «El sistema eléctrico,» Madrid, 2015.
- [4] REE, «Informe anual Red de Transporte,» 2015.
- [5] F. S.A., «China construye la línea de transmisión eléctrica de mayor capacidad del mundo,» 2012.
- [6] Agroarenas, «El blog de agroarenas,» [En línea]. Available: <http://agroarenas.com/blog/tipos-de-generacion-de-energia-electrica/>. [Último acceso: 4 Febrero 2016].
- [7] Villamandos, «Comienza a andar el mayor parque fotovoltaico de España,» *Renovables verdes*, 2012.
- [8] I. p. I. D. y. A. d. I. Energía, «IDAE,» ESPAÑA, 2015.
- [9] REE, «Web oficial Red Eléctrica de España,» 2016. [En línea]. Available: [www.ree.es](http://www.ree.es). [Último acceso: 10 febrero 2016].
- [10] REE, «Informe anual potencia instalada en España,» 2015.
- [11] OMIE, «[www.omie.es](http://www.omie.es),» 2016. [En línea]. Available: [www.omie.es](http://www.omie.es). [Último acceso: 15 Febrero 2016].
- [12] CNMC, «Boletín Mensual de indicadores eléctricos y económicos,» 2015.
- [13] REE, «Informe sistema eléctrico español,» 2015.
- [14] REE, «Informe anual de la demanda horaria máxima y componentes,» 2015.
- [15] IECA, «Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones,» 2016. [En línea]. Available: [https://www.ieca.es/reportajeT.asp?id\\_rep=6](https://www.ieca.es/reportajeT.asp?id_rep=6). [Último acceso: 4 Abril 2016].
- [16] J. Villanueva, «TFG: Consumo de energía eléctrica en el sector industrial. Cemento, Química y Papel,» 2010.
- [17] UNESID, «Unión de Empresas Siderúrgicas,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.unesid.org/siderurgia-modos-de-produccion.php>. [Último acceso: 30 Marzo]



- 2016].
- [18] M. Piñas, «TFG: Propuesta de un procedimiento de operación para la participación de la demanda industrial en los mercados de servicios de ajuste del sistema eléctrico,» 2013.
- [19] ATLAS, «Industria papelera Atlas,» [En línea]. Available: <http://www.atlas.com.pe/proceso.html>. [Último acceso: 25 Marzo 2016].
- [20] «EcuRed,» [En línea]. Available: [http://www.ecured.cu/Industria\\_Qu%C3%ADmica](http://www.ecured.cu/Industria_Qu%C3%ADmica). [Último acceso: 28 Marzo 2016].
- [21] H. Aznar, «Tecnoindustria,» 16 Febrero 2016. [En línea]. Available: <https://technoindustria.wordpress.com/2016/02/16/evolucion-en-espana-del-sector-de-la-metalurgia-no-ferrea/>. [Último acceso: 7 Mayo 2016].
- [22] «Energía y Sociedad,» 2016. [En línea]. Available: [www.energiaysociedad.es](http://www.energiaysociedad.es). [Último acceso: 28 Marzo 2016].
- [23] E. Justo, «TFG: Mercados de servicios de ajuste del sistema eléctrico. Propuesta de mejora,» 2013.
- [24] Escuela de Ingeniería Superior de Sevilla, «Mecanismos de ajuste de demanda y producción,» 2013.
- [25] L. López, «La nueva interrumpibilidad pone en jaque a la industria,» *El Economista*, 31 Marzo 2014.
- [26] «Enel Green Power España, primera renovable certificada para participar en los servicios de ajuste,» *El Periódico de la energía (online)*, 3 Marzo 2016.
- [27] IndustRE, «IndustRE official site,» [En línea]. Available: [www.industre.eu](http://www.industre.eu). [Último acceso: 15 Abril 2016].
- [28] Instituto Investigación Tecnológica (IIT), «Business models and market barriers,» 2016.
- [29] IndustRE, «IEA Workshop,» París, 2016.
- [30] REE, «Informe anual sistema eléctrico,» 2015.
- [31] IndustRE, «Busines Models and Market Barriers,» 2016.
- [32] «eStorage web site,» [En línea]. Available: <http://www.estorage-project.eu/>. [Último acceso: 10 Abril 2016].

- [33] Council of European Energy Regulators, «CEER web site,» [En línea]. Available: <http://www.ceer.eu/>. [Último acceso: 11 Abril 2016].
- [34] IndustRE, «"Conclusions of the last European Electricity Regulatory Forum in Florence",» Forencia, Italia, 2015.
- [35] T. Jezdinsky, «IndustRE Project overview,» 2016.
- [36] RWE, «RWE npower official site,» [En línea]. Available: [www.rwe.com](http://www.rwe.com). [Último acceso: 10 Abril 2016].
- [37] National Grid, «National Grid Company Web site,» [En línea]. [Último acceso: 25 Febrero 2016].
- [38] M. Martínez, «Repercusión de las energías renovables en la liberación del sistema eléctrico español. Análisis comparativo con Reino Unido,» 2014.
- [39] «Parque eólico Hywind en el mar del Norte,» *El periodico de la energía (online)*, 17 Junio 2015.
- [40] J. A. Roca, «El Reino Unido alcanza una cuota record de producción renovable,» *El periodico de la energía (online)*, 21 Agosto 2015.
- [41] Department of energy and climate change, «Digest of United Kingdom Energy Statistics (DUKES),» 2015.
- [42] EUROSTAT, «Eurostat, your key to european statistics,» [En línea]. Available: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/energy-balances>. [Último acceso: 11 Mayo 2016].
- [43] «TuSalario/Consultor,» [En línea]. Available: <http://www.tusalario.es/main/salario/comparatusalario?job-id=2511020000000>. [Último acceso: 5 Mayo 2016].
- [44] TOSHIBA, «Toshiba web site,» [En línea]. Available: <http://www.toshiba.es/laptops/satellite/satellite-I50-b/satellite-I50-b-23h/>. [Último acceso: 5 Mayo 2016].
- [45] «twenergy,» 27 Febrero 2013. [En línea]. Available: [www.twenergy.com](http://www.twenergy.com). [Último acceso: 2 Febrero 2016].
- [46] J. L. d. I. Manzanara, «TFG: Análisis técnico-económico de la rentabilidad de la energía fotovoltaica para consumidores residenciales tipo medio,» Madrid, 2015.

- [47] O. M. I. Español, «OMIE,» [En línea]. Available: <http://www.omie.es/inicio/mercados-y-productos>. [Último acceso: 1 Febrero 2016].
- [48] «Precio de la electricidad en tiempo real,» [En línea]. Available: [www.tarifaluzhora.es](http://www.tarifaluzhora.es). [Último acceso: 31 Marzo 2016].